



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

Jorge de Oliveira

**Avaliação e melhoria no rendimento elétrico de acumuladores
chumbo-ácido para motocicletas**

**Tubarão
2008**

Jorge de Oliveira

**Avaliação e melhoria no rendimento elétrico de acumuladores
chumbo-ácido para motocicletas**

Relatório apresentado ao curso de Graduação
em Engenharia Química da Universidade do
Sul de Santa Catarina, como requisito parcial
para aprovação na disciplina de Estágio
Supervisionado

Universidade do Sul de Santa Catarina

Supervisor: Professor MSc Maria Lúcia Soares Cochlar

**Tubarão
2008**

Jorge de Oliveira

**Avaliação e melhoria no rendimento elétrico de acumuladores
chumbo-ácido para motocicletas**

Este relatório foi avaliado e considerado adequado como requisito parcial para a aprovação na disciplina Estágio Supervisionado Curricular em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, julho de 2008.

Professor e Orientador **Msc Maria Lucia Soares Cochlar**
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor **Dr. Marcos Marcelino Mazzucco**
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor **Dr. Jose Humberto Dias de Toledo**
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus Pais e avos.

Em especial minha mãe por todo amor que
me foi dedicado,em todos os momentos de minha vida.

A minha irmã por todo incentivo nos momentos de desanimo.

A minha noiva por todo o seu amor e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes

À Universidade do Sul de Santa Catarina,

À Konder Moto do Brasil , nas pessoas dos sócios diretores

Antonio Depieri Neto e Altair Ghizzo Menegalli pelo o apoio

e oportunidade de realização desse trabalho.

Ao Gercino de Souza pelo apoio na realização dos trabalhos na empresa.

Aos professores do curso de Engenharia Química por tudo o

que me foi ensinado... Em especial à minha

Professora orientadora MSc Maria Lúcia Soares Cochlar

Pelo acompanhamento e dedicação

E a todos que me ajudaram na realização

deste sonho.

RESUMO

O relatório visa descrever as atividades realizadas durante o estágio na empresa Konder Moto do Brasil, localizada no município de Sangão, no sul do estado de Santa Catarina. A empresa Konder Moto do Brasil produz baterias chumbo-ácido para uso em motocicletas. A empresa iniciou suas atividades como uma pequena fábrica de baterias para motos que, na época, não exigiam uma bateria de grande eficiência energética, ao contrário do momento atual em que se exige cada vez mais deste dispositivo. As motocicletas equipadas com sistemas eletrônicos complexos com partidas elétricas possuem sistemas elétricos mais exigentes. Por isso o objetivo do estágio foi desenvolver um trabalho de melhoramento dos elementos dos acumuladores, constituídos de placas negativas e positivas, dando ênfase em seus dimensionamentos e ainda comprovando seu melhoramento com alguns testes descritos nas normas NBR10963 e NBR 10964. Possíveis readequações no processo e produto serão analisadas.

Palavras-chave: Baterias chumbo-ácido, chumbo, ácido sulfúrico, etc...

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE MINÉRIO DE PB, POR CONTINENTE (10^3 T PB CONTIDO), NO PERÍODO DE 2000 – 2003 (ILZSG, 2004).	17
FIGURA 2 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE PB METÁLICO, POR CONTINENTE (103 T PB CONTIDO), NO PERÍODO DE 2000 – 2003 (ILZSG, 2004).	17
FIGURA 3 - ELEMENTO DE UMA BATERIA ÁCIDO-CHUMBO .FONTE: COSTA (HTTP://WWW.OFICINAECIA.COM.BR/BIBLIADOCARRO/CAPA_BIBLIA.ASP)	20
FIGURA 4 - BATERIA ÁCIDO-CHUMBO KONDER MOTO.FONTE: KONDER MOTO.	21
FIGURA 5 - BATERIA DE PLANTÉ.....	24
FIGURA 6 GRADE FUNDIDA FONTE:DESCONHECIDO.....	26
FIGURA 7 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BATERIAS CHUMBO – ÁCIDO. FONTE : AUTOR.	30
FIGURA 8 – CHUMBO MOLE. FONTE: AUTOR	43
FIGURA 9 – CHUMBO DURO. FONTE: AUTOR.	43
FIGURA 10 – CHUMBO ARMAZENADO. FONTE: AUTOR.....	44
FIGURA 12 – REFINO DO CHUMBO, DETALHE DO CADINHO E O LIGOTEAMENTO DO CHUMBO. FONTE: AUTOR.	44
FIGURA 13 – LABORATÓRIO QUÍMICO. FONTE: AUTOR.....	45
FIGURA 15 – FAZENDO AS BOLAS DE CHUMBO. FONTE: AUTOR.	50
FIGURA 17 – AMOSTRA DE ÓXIDO DE CHUMBO. FONTE: AUTOR	51
FIGURA 18 – SETOR DE FUNDIÇÃO DE GRADES. FONTE: AUTOR	52
FIGURA 19 – SETOR DE EMPASTAÇÃO. FONTE: AUTOR.....	53
FIGURA 20 – DETALHE ANTES E DEPOIS DOS PAINÉIS SEREM EMPASTADOS . FONTE: AUTOR	53
FIGURA 21 – DETALHE DA FORMAÇÃO DA PLACA NEGATIVA. FONTE: IX EMBAT.....	54
FIGURA 22 – COMPORTAMENTO DA REAÇÃO NA PLACA NEGATIVA. FONTE: IX EMBAT.....	55
FIGURA 23 – COMPORTAMENTO DA REAÇÃO NA PLACA COM BAIXA CONCENTRAÇÃO DE ACIDO. FONTE: IX EMBAT.	58
FIGURA 24 – COMPORTAMENTO DA REAÇÃO NA PLACA COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE ACIDO. FONTE: IX EMBAT. .	58
FIGURA 25 – COMPORTAMENTO DE NÚMEROS DE CICLOS EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE ACIDO. FONTE: IX ENBAT.....	59
FIGURA 26 – ESTUFA DE CURA DAS PLACAS. FONTE: AUTOR.	60
FIGURA 27 – O PAINEL ANTES E DEPOIS DA FORMAÇÃO EM CIMA POSITIVA EM BAIXO NEGATIVO. FONTE: AUTOR.	61
FIGURA 28 – TESTE DE ATIVAÇÃO. FONTE: AUTOR.....	63
FIGURA 29 – EMBALAGENS COM SOLUÇÃO DE ÁCIDO SULFURICO. FONTE: AUTOR.....	64
FIGURA 30 – GRADE COM SUAS MEDIDAS. FONTE: AUTOR.....	71
FIGURA 31 – OS PAINÉIS PARA BATERIA K ₁ E K ₂ . FONTE : AUTOR.	71
FIGURA 32 - EXPERIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE NOMINAL. FONTE : AUTOR.....	75
FIGURA 33 - O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (K ₁). FONTE : AUTOR .	78
FIGURA 34 - O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (K ₂). FONTE : AUTOR .	78
FIGURA 35 - O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (Y ₃). FONTE : AUTOR .	78
FIGURA 36 - O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (C ₄). FONTE : AUTOR .	79

FIGURA 37- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (C_3). FONTE : AUTOR .	79
FIGURA 38- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE NOMINAL (C_6). FONTE : AUTOR .	79
FIGURA 39- O GRÁFICO OBTIDO PELA COMPARAÇÃO DE TODOS MODELOS. FONTE : AUTOR	80
FIGURA 40- EXPERIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DA DESCARGA COM BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR.	81
FIGURA 41- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	83
FIGURA 42- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	83
FIGURA 43- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	83
FIGURA 44- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	84
FIGURA 45- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	84
FIGURA 46- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA. FONTE : AUTOR	84
FIGURA 47- O GRÁFICO OBTIDO PELA COMPARAÇÃO DE TODOS MODELOS. FONTE : AUTOR	85
FIGURA 48- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	86
FIGURA 49- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	86
FIGURA 50- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	87
FIGURA 51- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	87
FIGURA 52- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	87
FIGURA 53- O GRÁFICO OBTIDO PELO ENSAIO DE DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA. FONTE : AUTOR	88
FIGURA 54- COMPARAÇÃO DE TODOS MODELOS SUBMETIDOS A DESCARGA RÁPIDA A BAIXA TEMPERATURA . FONTE : AUTOR	88
FIGURA 55- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	89
FIGURA 56- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	89
FIGURA 57- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	89
FIGURA 58- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	90
FIGURA 59- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	90
FIGURA 60- O GRÁFICO COMPARATIVO COM TEMPERATURAS DIFERENTES. FONTE : AUTOR	90
FIGURA 61- AS PLACAS E GRADES QUE DARAM ORIGEM AS (K_1, K_2, Y_3). FONTE : AUTOR	97
FIGURA 62- AS PLACAS E GRADES QUE DARAM ORIGEM AS ($K_1, K_2, Y_3, C_4, C_5, C_6$). FONTE : AUTOR	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE CHUMBO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO, POR PAÍSES (103 T), NO PERÍODO DE 1996 A 1999.	18
TABELA 2-REFERENTE À UTILIZAÇÃO DO CHUMBO E SUAS LIGAS.	18
TABELA 3- COMPOSIÇÃO TÍPICA APROXIMADA DA BATERIA ÁCIDO-CHUMBO.	22
TABELA 4-HISTÓRICO DA BATERIA DE CHUMBO – ÁCIDO.	25
TABELA 5-REPRESENTA A RELAÇÃO ENTRE ESTADO DE CARGA E A DENSIDADE.	36
TABELA 6 - TERMOS MÉDIOS, OS PERCENTUAIS DOS ELEMENTOS PRESENTES NO CHUMBO (KONDER).	43
TABELA 7-COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CHUMBO REFINADO	46
TABELA 8- ESPECIFICAÇÕES DO CHUMBO EM GERMAN, BRITISH, AMERICAN E RUSSIAN.	46
TABELA 9 - VALORES DOS CONTAMINANTES NA LIGA DE CHUMBO PURO.	47
TABELA 10 - APRESENTA ALGUMAS REFERÊNCIAS PARA LIGAS	49
TABELA 11- FUNÇÕES DE ALGUNS METAIS NA LIGAS DE CHUMBO.	49
TABELA 12 - ESPECIFICAÇÕES DE ÓXIDO DE CHUMBO.	50
TABELA 13 - MATERIAIS USADOS NA PRODUÇÃO DOS MATERIAIS ATIVOS.	53
TABELA 14 - ESPECIFICAÇÃO DAS PLACA NA SAÍDA DA ESTUFA DE CURA.	61
TABELA 15 - ESPECIFICAÇÃO DAS PLACAS NA SAÍDA DA FORMAÇÃO (CARREGADOR).	62
TABELA 16 - TABELA MAXIMO DE IMPUREZAS DE ACIDO SULFÚRICO.	65
TABELA 17 - TABELA MAXIMO DE IMPUREZAS DE ACIDO SULFÚRICO.	65
TABELA 18 - TABELA MAXIMO DE IMPUREZAS DE ÁGUA.	66
TABELA 19 - CAPACIDADE G/AH POR MATERIAL.	68
TABELA 20 BALANÇO DE MASSA₁.	70
TABELA 21 BALANÇO DE MASSA₂.	70
TABELA 22 – RELAÇÃO ENTRE OS PAINÉIS.	72
TABELA 23 – RELAÇÃO ENTRE AS BATERIAS ANALIZADAS.	73
TABELA 24 – DADOS REFERENTES A DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE NOMINAL.	76
TABELA 25 – CAPACIDADE NOMINAL DAS BATERIAS ANALIZADAS.	77
TABELA 26 – DADOS REFERENTES A DESCARGA A 14 A COM TEMPERATURA DE 27 °C.	82
TABELA 27 – DADOS REFERENTES A DESCARGA A 14 A COM TEMPERATURA DE -10 °C.	85

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
SUMÁRIO.....	10
2.0 DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2. 2 Objetivos Específicos	14
2.3 Levantamento Bibliográfico.....	15
2.3.1 O Chumbo.....	15
2.3.1.1 Propriedades físico-químicas.....	15
2.3.1.2 Características sobre sua ocorrência na natureza	16
2.3.1.3 Considerações sobre produção e consumo.....	16
2.3.1.4 O chumbo e algumas de suas principais utilização.	18
2.3.2 Bateria chumbo – ácido	20
2.3.2.1 Histórico das Baterias chumbo – ácido.	23
2.3.3 Estudo dos componentes da bateria ácido-chumbo	25
2.3.3.1 Grade.....	25
2.3.3.2 Material ativo	26
2.3.3.3 Placas.....	28
2.3.3.4 Separadores	28
2.3.3.5 Eletrólito	29
2.3.3.5 Recipiente.....	29
2.3.4 Aspectos relacionados ao estudo elétrico das baterias chumbo-ácido	31
2.3.4.1 As reações químicas principais e algumas considerações	31
2.3.4.2 Processo de descarga	32
2.3.4.3 Processo de carga	34
2.3.4.4 Parâmetros e alguns aspectos de operação das baterias	36
2.4 Atividade Desenvolvida – O Problema	38
2.4.1 Introdução.....	38
2.4.2 Modelo da bateria a ser trabalhada	39

2.4.3 Estrutura do trabalho de melhoramento	39
2.5 Materiais e Métodos.....	41
2.5.1 Materiais	41
2.5.2 Métodos	41
2.5.2.1 Processo atual de produção	42
2.5.2.1.1 Chumbo bruto	42
2.5.2.1.2 Chumbo refinado	44
2.5.2.1.2.1 Liga de chumbo puro.....	45
2.5.2.1.2.2 Ligas de chumbo.....	47
2.5.2.1.3 Produção de óxido	50
2.5.2.1.4 Produção de grade.....	51
2.5.2.1.5 Produção do material ativo e empastação.....	52
2.5.2.1.6 Processo de cura	60
2.5.2.1.7 Processo de formação.....	61
2.5.2.1.8 Aspectos relacionados à solução de ácido sulfúrico	63
2.5.2.2 Balanceamento dos componentes formadores da bateria.....	66
2.5.2.2.1 Balanço de massa ₁	67
2.5.2.2.2 Balanço de massa ₂	68
2.5.2.2.3 Execução do balanço.....	69
2.5.2.3 Ensaio elétrico.....	74
2.5.2.3.1 Determinação da capacidade nominal C ₁₀	74
2.5.2.3.2 Descarga rápida a baixa temperatura	80
2.6 Resultados e Discussões.....	91
2.6.1 Resultados e Discussões	91
2.6.1.1 Processos envolvendo chumbo refinado	91
2.6.1.2 Processos envolvendo produção do material ativo.....	93
2.6.1.3 Considerações sobre o balanço de massa.....	96
3.0 CONCLUSÕES.....	100
REFERÊNCIAS	101
APÊNDICE A - A EMPRESA.....	102

1.0 INTRODUÇÃO

A Konder Moto iniciou suas atividades em 18 de Junho de 1999, na comunidade de Sanga Grande, em Jaguaruna, em uma área de 88m² em um galpão alugado, sendo o primeiro proprietário o Sr. Antônio de Pieri, popular Toninho, com o nome HONDER. Nesta época produzia aproximadamente 100 a 200 baterias por mês (três meses iniciais). Em uma dessas vendas o empresário Sr. Antonio conheceu um comerciante, o Sr. Altair e surgiu a idéia de constituírem uma sociedade. A idéia foi empreendida e a sociedade aconteceu. No mesmo ano a HONDER fez uma parceria com a empresa Megatron de Joinville, hoje Megavile, que veio a fortalecer a empresa. Durante três anos a Honder permaneceu na comunidade de Sanga Grande. Após esse tempo transferiu-se para uma sede própria com área total de 10.000 m².

Atualmente localiza-se às margens da BR 101, na comunidade de Morro Azul, Sangão, Santa Catarina, com uma produção média de 500.000 mil baterias por ano, uma média de 42.000 unidades por mês.

A Konder Moto atende o mercado de reposição de baterias para motocicletas se destacando por procurar constante melhoria da qualidade de seus produtos. Possui atualmente um quadro de 100 funcionários com os quais vêm aperfeiçoando seu processo produtivo e melhorando seus produtos. As baterias chumbo – ácido para motocicletas, anos atrás, eram dispositivos de armazenamento de energia pouco exigidos em motos de até 125 cilindradas mas, esse cenário vem se modificando e cada vez mais as baterias são exigidas pelos dispositivos eletrônicos, como partidas elétricas, iluminação sofisticada, alarmes e outros acessórios. Levando-se em conta que o local onde a bateria é instalada, nas motocicletas, tem um espaço físico limitado ao contrário das baterias para automóveis em que se pode colocar uma bateria com maior capacidade, a empresa Konder procura desenvolver melhorias levando em conta este fator limitante.

Neste relatório procurar-se-á expor o trabalho de melhoramento dos elementos das baterias, constituídos de placas negativas e positivas compostas respectivamente, de chumbo metálico e de peróxido de chumbo, empastados em uma placa de chumbo metálico chamado de chumbo liga. Esse melhoramento constitui-se no aperfeiçoamento do processo e do material constituinte, no seu dimensionamento e avaliação tendo como *benchmark* um dos nossos principais

concorrentes, que produz uma bateria para motocicleta reconhecida como uma das melhores do mercado mundial.

Analisar-se-á no trabalho segundo as normas NBR 10963, NBR 10964 e NBR 8282, o desempenho de diferentes baterias comparando-as entre si visando identificar problemas e soluções, de modo a propor possíveis readequações no processo e no produto.

2.0 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver melhorias no processo de fabricação dos elementos constitutivos das baterias chumbo-ácido visando a melhoria no rendimento elétrico das mesmas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a possibilidade de melhorias na qualidade do chumbo, reduzindo seus contaminantes e demonstrando a relação direta deste parâmetro com o rendimento elétrico das baterias;
- Identificação de contaminantes na solução eletrolítica;
- Elaborar o balanço de massa das matérias químicas das baterias;
- Ponderar sobre a possibilidade de: refino do chumbo, produção de massa, empastação, cura, formação e secagem das placas;
- Aplicação de alguns dos itens das normas NBR 10963 e NBR 10964 que regulamentam sobre as características elétricas e mecânicas de baterias para motocicletas.

2.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o principal material constituinte das baterias chumbo-ácido, o chumbo e sobre as baterias chumbo-ácido, seu funcionamento e algumas definições em torno do assunto.

2.3.1 O Chumbo

2.3.1.1 Propriedades físico-químicas

O chumbo (Pb) – é um metal cinza-azulado, inodoro, maleável e sensível ao ar. Pertence ao grupo IV B da tabela Periódica.

Possui quatro isótopos de ocorrência natural, com as seguintes abundâncias: ^{204}Pb (1,4%), ^{206}Pb (24,1%), ^{207}Pb (22,1%) e ^{208}Pb (52,4%). As razões isotópicas, para as várias fontes minerais, podem diferir de acordo com a localidade.

O chumbo é dificilmente atacado pelo ácido clorídrico, mesmo concentrado. O ácido sulfúrico diluído não provoca reação, mas concentrado e quente transforma-o em sulfato de chumbo, libertando anidrido sulfuroso. O ácido nítrico dissolve-o à temperatura normal, dando origem ao nitrato de chumbo e a vapores nitrosos. O chumbo fundido liga-se com numerosos metais.

Geralmente, o chumbo quando associado aos outros elementos, dá origem a vários compostos. O carbonato de chumbo (PbCO_3), cerusita, é comumente encontrado. O sulfato de chumbo (PbSO_4) constitui a anglesita; o cromato de chumbo (PbCrO_4) a crocoisita; o molibdato de chumbo (PbMoO_4) a wulfenita; o fosfato de chumbo a piromorfita, o litargírio (PbO) e o zarcão (Pb_3O_4). Combinado com o enxofre, o chumbo ocorre sob a forma de sulfeto, PbS (galena) que é um dos mais abundantes minérios de chumbo (MACHADO,2002).

2.3.1.2 Características sobre sua ocorrência na natureza

O chumbo é relativamente abundante na crosta terrestre, tendo uma concentração média de 13 mg/kg (WHO, 1995). Acredita-se que sua concentração venha aumentando significativamente como resultado da atividade humana. As maiores fontes naturais de chumbo são emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e névoas aquáticas. As maiores fontes geológicas de chumbo são as rochas ígneas e metamórficas (WHO, 1995).

Estima-se que as taxas de emissão natural do chumbo são da ordem de 19.000 toneladas por ano (NRIAGU, 1997, apud WHO, 1995), com fontes vulcânicas sendo responsáveis por 6.400 toneladas por ano (WHO, 1995), e o restante são decorrentes da ação antropogênica e pelo transporte do elemento químico através do ar.

O teor de chumbo nos solos varia de região a região, onde em vias de tráfego intenso e de indústrias, os teores de chumbo são bem mais elevados que aqueles encontrados em áreas isoladas (CETESB, 2004).

O solo é considerado um dos depósitos principais de chumbo, pois ao alcançá-lo, este contaminante pode ali permanecer indefinidamente. O chumbo no solo pode estar sob diversas formas: relativamente insolúvel (sulfato, carbonato ou óxido), solúvel adsorvido, adsorvido e co-precipitado, adsorvido em matérias orgânicas coloidais ou complexado no solo (IPCS, 1995). O pH do solo influencia a mobilidade do metal, que pode sofrer modificações, formar compostos menos solúveis e tornar-se menos disponível.

2.3.1.3 Considerações sobre produção e consumo

De acordo com as estimativas do International Lead Zinc Study Group – ILZSG(2004), a produção mundial de minério de chumbo primário (mina), em metal contido, atingiu no ano de 2003 um total de 3,1 milhões de toneladas, sendo o continente asiático o maior produtor, superando o continente americano. Também verifica-se que os continentes da Europa, África e Oceania estão mantendo suas produções de minério em comparação com a América e a Ásia, conforme está apresentado na Figura 1.

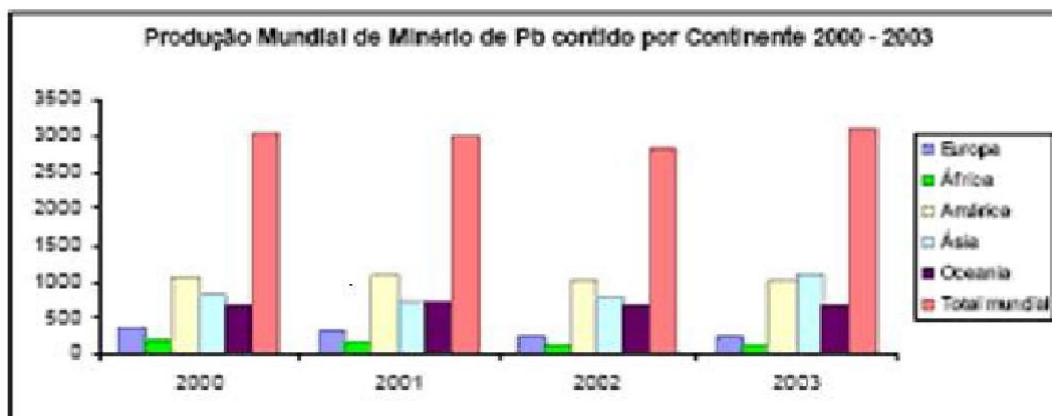


Figura 1 – Produção Mundial de Minério de Pb, por Continente (10^3 t Pb contido), no Período de 2000 – 2003 (ILZSG, 2004).

A produção mundial de chumbo metálico primário proveniente da mina e o secundário obtido a partir da recuperação do metal de sucatas, respectivamente, alcançou 6,7 milhões de toneladas no ano de 2003, sendo a Ásia e a América os maiores produtores conforme apresentado na Figura 2.

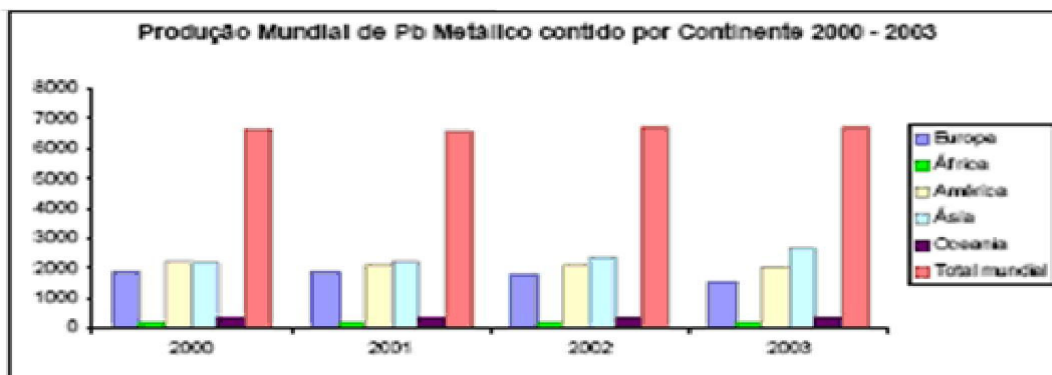


Figura 2 – Produção Mundial de Pb Metálico, por Continente (10^3 t Pb contido), no Período de 2000 – 2003 (ILZSG, 2004).

Os principais países produtores do chumbo nos últimos anos foram os Estados Unidos, China e Alemanha (DNPM, 2004). A produção de chumbo no Brasil refere-se exclusivamente ao chumbo secundário, e aparece na produção mundial em pequena proporção representando aproximadamente 0,63% no ano de 2000 (DNPM, 2001) como ilustrado na Tabela 1.

O chumbo secundário é obtido a partir da recuperação do metal de sucatas e rejeitos. Existem vários países, além do Brasil, que dependem exclusivamente da produção secundária do chumbo: Áustria, Colômbia, República Tcheca, Irlanda, Jamaica, Malásia, Holanda, Nova Zelândia, Paquistão, Filipinas,

Portugal, Eslovênia, África do Sul, Espanha, Suíça, Trinidad e Tobago, Tailândia e Ucrânia (JOST, 2001).

Tabela 1 – Produção mundial de chumbo primário e secundário, por países (103 t), no período de 1996 a 1999.

Países	TOTAL ANUAL			
	1996	1997	1998	1999
EUA	1397,6	1448,6	1457	1380,8
CHINA	706,2	707,5	756,9	739,2
ALEMANHA	238,1	329,2	360,2	373,6
REINO UNIDO	351,4	384,1	349,7	348,1
JAPÃO	287,4	296,8	302,1	293,5
AUSTRÁLIA	228,3	228,5	198,2	271,5
FRANÇA	301,1	282,8	290,2	269,6
CANADÁ	310,5	271,4	265	265,5
MEXICO	226,2	246,1	263,3	228,5
ITÁLIA	209,8	212	199,3	214
BRASIL *	48	53	48	38,4
OUTROS PAÍSES	1474,5	1549,4	1612,6	1622
TOTAL MUNDIAL	5779,1	6009,4	6122,5	6044,7

Fonte: DNPM, 2001. * No Brasil a produção de chumbo refere-se a chumbo secundário.

2.3.1.4 O chumbo e algumas de suas principais utilização.

O chumbo foi um dos primeiros metais a ser trabalhado pelo homem, sendo conhecido desde os anos 3500 A.C., de acordo com descobertas arqueológicas realizadas no Egito. O chumbo tem sido um metal essencial na fabricação de produtos utilizados pelo homem. Na forma de ligas e compostos, o chumbo é empregado na fabricação de produtos de alta tecnologia como, por exemplo, proteção de reatores nucleares, finas placas de componentes eletrônicos, baterias, tintas e corantes, cerâmicas, cabos e munição (LUND, 1971 e EPA, 1998).

O chumbo é um metal bastante versátil quanto ao seu emprego em produtos industriais. Ele pode ser endurecido pela adição de outros metais e ser utilizado como liga metálica produzindo diversos produtos, como soldas e outros materiais. Além de ligas metálicas, vários compostos utilizando chumbo têm sido preparados e empregados nas indústrias química, cerâmica, etc. Um exemplo do uso do chumbo na indústria cerâmica é o emprego do óxido de chumbo (PbO_2) na composição de vidro denominado “cristal”, que têm em torno de 24% desse óxido.

São apresentados abaixo, exemplos de ligas metálicas e suas utilizações.

Tabela 2-Referente à utilização do chumbo e suas ligas.

Composto	Composição química	Aplicação
Chumbo-Cobre	Pb/Cu	Folhas metálicas, tubulações, proteções para cabos de energia elétrica que precisam ser enterrados, precipitadores de vapores ácidos.
Chumbo-Antimônio	Pb/Sb	Baterias ácidas, postes e conectores, munição, tubos e válvulas que entram em contato com operações químicas que usam ácido sulfúrico ou soluções de sulfatos submetidos a temperaturas elevadas, pesos de balanceamento em rodas automotivas.
Chumbo-Estanho-Antimônio	Pb/Sn/Sb	Baterias ácidas, letras tipográficas, miniaturas ornamentais, ornamentos para caixões, fivelas de cintos e troféus.
Chumbo-Estanho	Pb/Sn	Solda e camada de recobrimento em componentes eletrônicos, em radiadores para automóveis, trocadores de calor, filtros de ar, filtros de óleo.
Chumbo – Cálcio	Pb/Ca	Placas para baterias ácidas, anodos para eletroposição e quilhas de barcos.
Chumbo / Cálcio /Alumínio	Pb /Ca /Al	Placas para baterias ácidas.
Chumbo / Cálcio /Estanho	Pb /Ca /Sn	Placas para baterias ácidas e anodos para eletrodeposição.
Chumbo /Prata	Pb/Ag	Anodo insolúvel para eletroposição utilizando zinco e manganês, anodo na proteção catódica de tubos de aço e estruturas mergulhadas na água do mar, soldas submetidas a altas pressões e temperaturas, sistemas de resfriamento, placas para baterias ácidas.
Chumbo /Prata /Cálcio	Pb/Ag/Ca	Eletrodeposição de zinco.
Chumbo/Prata/Antimônio / Cobre	Pb/Ag/Sb/Cu	Finas placas metálicas em eletrônica.
Chumbo /Estrôncio/ Estanho	Pb/Sr./Sn	Placas para bateria ácida de chumbo livre de manutenção.
Chumbo / Telúrio	Pb/Tea	Tubos para instalações químicas, proteção de reatores nucleares, recobrimento de cabos.
Chumbo /índio	Pb /Li	Placas para baterias.
Acetato de Chumbo	$Pb(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$	Verniz, inseticida, antiferrugem em pinturas, reagente analítico, tintura de cabelo, impermeabilizador
Arseneto de Chumbo	$Pb_3(AsO_4)_2$	Inseticida, herbicida.
Arsinito de chumbo	$Pb(AsO_2)_2$	Inseticida.
Borato de chumbo	$Pb(BO_2)2H_2O$	Verniz e secante de pintura, camada em cerâmica eletricamente condutiva.
Borossilicato de chumbo		Componente do vidro óptico.

Fonte: EPA (1998)

2.3.2 Bateria chumbo – ácido

Baterias chumbo-ácido são conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas envolvendo chumbo e ácido sulfúrico (NBR 7039/1987).

Um acumulador elétrico nada mais é que uma célula galvânica, ou seja, um conjunto de eletrodos de carga oposta e uma solução carregadora de íons, o eletrólito que, a partir de uma reação química, produz trabalho elétrico. Na bateria chumbo-ácido, os eletrodos mais conhecidos por placas são arranjados um ao lado do outro, sendo alternados entre o positivo e o negativo e separados por um material isolante chamado de separadores que evita o contato entre eles e permite a passagem dos íons da solução. As placas são formadas por uma grade metálica que suporta uma pasta, o material ativo. Este último é o material que fornece o trabalho elétrico por meio de suas reações químicas.

As placas positivas estão ligadas em série uma à outra e conectadas ao pólo positivo, e as placas negativas também estão dispostas da mesma maneira e conectadas ao pólo negativo. Um conjunto de placas positivas e negativas alternadas e conectadas aos seus respectivos pólos é chamado de elemento, como mostra a Figura 3.

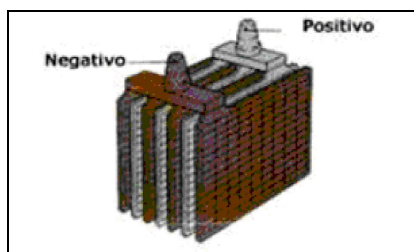


Figura 3- Elemento de uma bateria ácido-chumbo .Fonte: Costa (http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/capa_biblia.asp)

Os elementos são dispostos em diferentes compartimentos de uma caixa feita com material isolante, normalmente de polipropileno, ficando isolados um do outro, conforme mostra a Figura 4. Eles estão ligados em série através de conectores de chumbo e estão submetidos a uma diferença de potencial de aproximadamente 2,2 volts.

Na figura 4 são apresentados os principais pontos de uma bateria, com sua nomenclatura e algumas definições sobre seu material constituinte e sua

respectiva função. Destaca-se na figura, de uma forma simples e objetiva, os elementos, recipiente, placas, pólos entre outros.

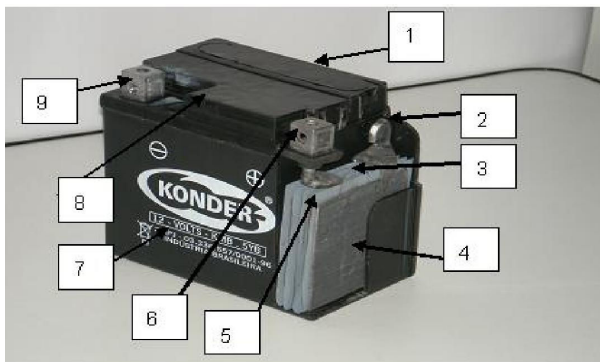


Figura 4- bateria ácido-chumbo Konder moto.Fonte: Konder moto.

1 Entrada da solução ácido de sulfúrico também chamada de solução eletrolítica .

2 Conexões tem por finalidade de interligar os grupos de placas são constituídas de liga de chumbo-liga, no qual garante a condução da eletricidade sem percas e com uma ótima resistência mecânica.

3 Separadores são colocados entre as placas positivas e negativas. Os separadores são fabricados de um material isolante, de baixa resistência ôhmica, anti-ácido e micro poroso. Tem por finalidade reduzir ao mínimo a resistência interna dos elementos e a distância entre as placas. Os separadores que são colocados nas baterias Konder são de polietileno de alta qualidade garantido a preservação das placas.

4 Placas negativas também chamadas de cátodos, apresentam-se como matéria ativa o óxido de chumbo (PbO) e um agente expensor quando carregadas eletricamente, transformam-se em chumbo esponjoso (Pb) com uma coloração cinza metálico. Essa massa ativa é fixada em uma grade metálica de chumbo-liga, oferecendo uma boa resistência mecânica e uma boa condução da eletricidade.

5 Placas positivas também chamadas de ânodos, apresentam-se como matéria ativa o óxido de chumbo (PbO) e quando carregada eletricamente transformam-se em dióxido de chumbo (PbO_2) com uma coloração castanho claro. Essa massa ativa é fixada em uma grade metálica de chumbo-liga, oferecendo uma boa resistência mecânica e uma boa condução da eletricidade.

6 Polo positivo também chamado de terminal é constituído de chumbo-liga .

7 Recipiente também definidos como caixas ou monoblocos geralmente são construídos de plásticos. As caixas das baterias Konder são feitas de polipropileno. Este material garante uma boa isolamento elétrica,térmica e resistência ao impacto, as tampas, eporexi e rolhas devem garantir o escape aos gases gerados no processo normal das baterias.

8 Abertura para escape de gases gerados no processo.

9 Polo negativo também chamado terminal é constituído de chumbo-liga .

O material ativo, isto é, o material que proporciona as reações químicas para a geração de energia, é o dióxido de chumbo, PbO_2 , na placa positiva, e o chumbo metálico na placa negativa. As grades e conexões também são constituídas de chumbo metálico. O eletrólito é constituído de uma solução de ácido sulfúrico, os separadores são de polietileno, borracha e outros materiais e as caixas são de polipropileno.

Na bateria, ao ser descarregada, há uma transformação do material ativo em PbSO_4 . A composição aproximada de uma bateria ácido-chumbo é dada na Tabela 3.

Tabela 3- Composição típica aproximada da bateria ácido–chumbo.

<i>Constituinte</i>	<i>Material</i>	<i>% em massa</i>
Material ativo	PbO_2 , Pb	33,7
Grade	Pb	24,3
Conexões e terminais	Pb	5,9
Separadores	Polietileno	2,5
Caixa	Polipropileno	5,7
Eletrólito	H_2SO_4	27,9

Fonte: Morachevskii (1996)

Quando em contato com o eletrólito (solução de ácido sulfúrico) o chumbo, material constituinte das placas negativas e o peróxido de chumbo, material constituinte das placas positivas possuem um potencial elétrico em relação ao mesmo. Porém, na prática, não é possível medir este potencial, apenas a diferença de potencial entre os eletrodos. Pode-se determinar o potencial elétrico dos eletrodos em relação ao eletrólito por meio do eletrodo de referência de hidrogênio, que, sob determinadas condições, tem potencial definido como 0 V (zero volt).

O potencial de diversos materiais em relação ao eletrodo de hidrogênio é tabelado, constituindo a série eletroquímica, que é bastante utilizada nos estudos de corrosão e de acumuladores elétricos. A viabilidade de um acumulador elétrico é definida pela diferença de potencial entre seus eletrodos, que dever ser suficientemente grande para promover as reações de oxiredução, isto é, o ganho de elétrons no eletrodo positivo (redução) e a perda de elétrons no eletrodo negativo (oxidação).

Dependendo da utilização e do tipo da bateria, a média do seu ciclo de vida pode variar de 3 à 10 anos, no caso das baterias para motocicletas sua duração é em média de 2 à 5 anos. Essas baterias, quando inutilizadas ou descarregadas,

tornam-se um resíduo perigoso e necessitam ser coletadas para posterior reciclagem. A Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) N°. 257/99 no Art.1º estabelece que “as baterias industriais constituídas de chumbo, cádmio e seus compostos, destinados a telecomunicações, usinas elétricas, sistemas ininterruptos de fornecimento de energia, alarme, segurança, movimentação de cargas ou pessoas, partidas de motores diesel e uso geral industrial, após seu esgotamento energético, deverão ser entregues pelo usuário ao fabricante, ao importador ou ao distribuidor da bateria, observando o mesmo sistema químico, para os procedimentos referidos no caput deste artigo”.

Nas empresas responsáveis pela sua reciclagem, o processo inicia pela trituração da bateria, a partir da qual os diversos constituintes são separados, cada um seguindo para uma destinação específica: a solução eletrolítica para neutralização, o polipropileno para reciclagem e o chumbo e seus compostos para o processo metalúrgico de produção de chumbo secundário. Considerando que no Brasil o chumbo utilizado é proveniente de reciclagem, tal procedimento deve ser aplicado na sua máxima extensão possível.

2.3.2.1 Histórico das Baterias chumbo – ácido.

O italiano Alessandro Volta, em 1800, fez os primeiros relatos em relação ao sistema eletroquímico com o descobrimento da pilha galvânica. A partir deste fato, começaram a ser realizados estudos com diferentes metais visando à obtenção da interconversão entre energia química e energia elétrica de forma reversível (SANTOS, 1989). Uma corrente contrária à direção da carga foi observada por Gautherot, em 1802, quando ele estudava a decomposição da água com fios de platina. Essa carga oposta à direção caracteriza uma corrente secundária, ou seja, um sistema reversível onde se tem uma reação de carga e outra de descarga. Em 1803, Ritter estende o estudo e publica resultados para placas de diferentes metais, intercaladas com tecidos umedecidos (KUCERA, 2003).

Relatos em relação ao sistema chumbo-ácido sulfúrico foram feitos por De La Rive, entre 1836 e 1843, quando ele investigou o dióxido de chumbo como eletrodo positivo em células primárias. Em 1854, Sinstedden verificou que o sistema chumbo-ácido sulfúrico fornecia grandes correntes secundárias.

Em 1860, o francês Gaston Planté, sessenta anos após a invenção da pilha galvânica por Volta, apresentou à Academia Francesa de Ciências a primeira bateria chumbo-ácida. Esta bateria era constituída de nove elementos, contendo cada um duas placas enroladas sob a forma de espiral e isoladas por meio de um separador de borracha conforme Figura 5.

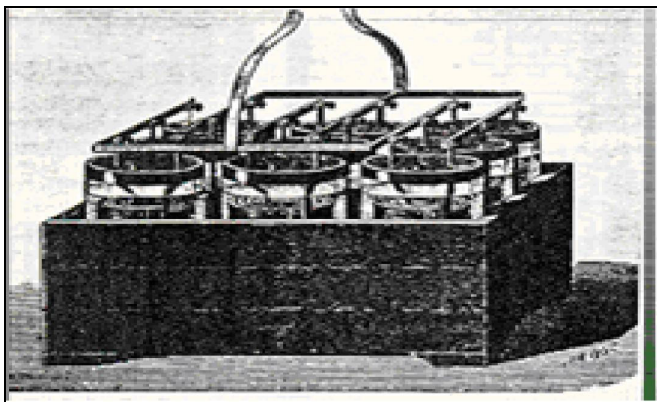


Figura 5 - Bateria de Planté

Em continuidade ao modelo de Planté, Fauré, em 1881, obteve uma diminuição no tempo de formação dos eletrodos, desenvolvendo um processo de empastamento das lâminas de chumbo com tetraóxido de chumbo, Pb_3O_4 , e com isso também obteve baterias com maior capacidade de armazenamento de carga.

A partir de 1900, baterias portáteis e compactas começaram a ser desenvolvidas para aplicações estacionárias, propulsão de veículos e partida de motores (KUCERA 2003). Durante a segunda guerra mundial, cresceu a demanda em relação a baterias menores, leves e de maior rendimento em aplicações mais severas. Certos materiais começaram a ficar escassos, impulsionando o desenvolvimento de novos tipos de separadores e aditivos orgânicos que melhoraram as características das placas negativas.

A década de 60 trouxe a automação das plantas industriais e as primeiras baterias com eletrólito imobilizado, nas quais não há possibilidade de haver gradiente de concentração (SANTOS, 1989). Iniciaram também aplicações de novas ligas metálicas, separadores mais sofisticados, grades expandidas, entre outros, proporcionados pelos avanços no conhecimento dos mecanismos de funcionamento das baterias ácido-chumbo.

Apresenta-se na tabela 4 um verdadeiro histórico e muitas outras contribuições para o desenvolvimento das baterias chumbo-ácido ao longo dos tempos para chegar ao dispositivo que conhecemos no momento.

Tabela 4-Histórico da bateria de chumbo – ácido.

Data	Autor	Desenvolvimento
1860	Planté	Primeira bateria ácida de chumbo utilizável.
1881	Faure e Sellon	Primeira bateria utilizando, no eletrodo positivo, folhas de chumbo cobertas com pastas de óxido de chumbo e ácido sulfúrico. Grade de liga de chumbo antimônio.
1881	Vockmar	Perfurou a placa de chumbo usada como suporte para o óxido.
1882	Brush , Gladstne e Tribe	Fixou o óxido de chumbo à placa de chumbo. Apresentou a teoria da reversividade da reação do sulfato na bateria ácida de chumbo.
1883	Tudor	Empastou a grade pré-tratada pelo método de plante com uma mistura de óxidos
1886	Lucas	Formou placas de chumbo em solução de cloratos e percloratos.
1890	Philipart	Construção de eletrodo tubular com anéis individuais.
1890	Woodward	Construção de eletrodo.
1910	Smith	Introduziu divisões de borracha na caixa de bateria.
1920 até o presente		Pesquisas de materiais e construção, especialmente expansores, óxidos e técnicas de fabricação.
1935	Haring e thomas	Grades de ligas de chumbo cálcio.
1935	Hamer e harned	Comprovação experimental da teoria da reação reversível do sulfato.
1956 – 1960	Bode e Voss Ruestschi e Caham J. Burbank W. Feittknrecht	Classificação das propriedades das estruturas cristalinas do PbO ₂ (alfa e beta).
1970 até o presente		Tecnologia da grade de metal expandido; compostos plástico/grade metálica; baterias chumbo-ácida seladas e livre de manutenção; fibras de vidro e separadores melhorados; baterias de alta densidade de energia (acima de 40Wh/Kg)

Fonte: LINDEN, 1984.

2.3.3 Estudo dos componentes da bateria ácido-chumbo

2.3.3.1 Grade

A grade é a estrutura física da placa, responsável pela sustentação mecânica do material ativo e por conduzir a corrente elétrica da placa entre os pólos. As principais características que a grade necessita são: boas propriedades mecânicas, alta condutividade e resistência à corrosão.

Para que sejam obtidas as propriedades desejadas, alguns elementos são adicionados na formação da liga de chumbo, pois o chumbo puro forneceria uma grade sem a resistência mecânica adequada. O processo mais usual de fabricação das grades é através de moldagem na forma desejada em prensas a

partir do chumbo no estado líquido, obtendo-se um formato como o mostrado na Figura 6. Essas prensas estão acopladas em máquinas denominadas fundidoras conforme a figura 7, são máquinas tradicionais nas fábricas de baterias, atualmente tem no mercado, máquinas que produzem as chamadas grandes expandidas. Essas máquinas são muito difíceis de serem encontradas nas fábricas brasileiras.

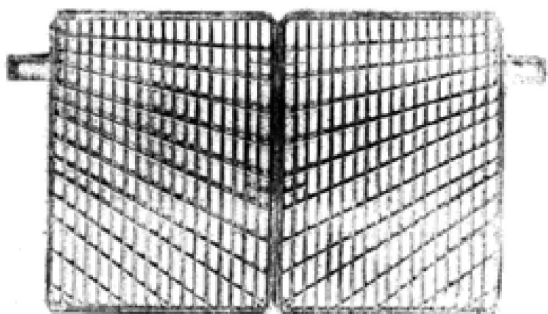


Figura 6 Grade fundida Fonte:desconhecido.

Uma liga de alta utilização é a chumbo-antimônio, Pb-Sb, que produz grades que seguram muito bem o material ativo e possuem elevado tempo de vida para baterias acionadas a altas temperaturas. A quantidade de antimônio na grade pode ir até 4 %. As principais razões para a utilização do antimônio na liga são: aumento da fluidez quando fundida (alguns fabricantes também especificam uma pequena quantidade de estanho para esta função), menos suscetibilidade à formação eletroquímica, possibilidade de sustentação da pasta sem a perda da sua resistência estrutural. Outra liga de grande utilização é a chumbo-cálcio, Pb-Ca. As baterias compostas por este tipo de liga apresentam pouca perda por gaseificação, o que pode ser traduzido em pequena perda de água por evaporação, resultando em baixa manutenção. Ao contrário das baterias com grelhas de Pb-Sb, as baterias com Pb-Ca têm um tempo reduzido de vida quando operadas a altas temperaturas. Nessas ligas, o teor máximo de cálcio é de 0,10%.

2.3.3.2 Material ativo

Denominam-se materiais ativos os compostos cujas reações eletroquímicas fornecem o trabalho elétrico (KUCERA, 2003). O dióxido de chumbo é o material ativo na placa positiva e chumbo metálico é o material ativo na placa negativa. A formulação do material ativo parte da produção do pó de partida, que

consiste de um óxido de chumbo, formado a partir de chumbo puro que é oxidado, com uma composição aproximada de 30% Pb chamado de chumbo livre e 70% PbO.

Existem dois métodos para a produção do óxido de chumbo:

- Método da moagem através de moinhos.

O método da moagem utiliza cones de chumbo puro em moinho de bolas, que, pelo atrito, produzem óxido de chumbo pulverizado e deixam o chumbo metálico descoberto.

- O método de Barton.

Inclui a dispersão de chumbo na forma líquida em uma câmara quente e a sua subsequente oxidação (SANTOS, 1989).

A etapa seguinte é a produção da pasta que dá origem ao material ativo. A pasta é obtida pela mistura do pó de chumbo parcialmente oxidado com água e solução de ácido sulfúrico. Alguns aditivos complementares são adicionados à pasta que dá origem às placas.

Na placa negativa, são adicionados aditivos orgânicos, conhecidos como expansores (agentes ativadores da superfície de reação), sulfato de bário (nucleante dos cristais de sulfato de chumbo) e negro de fumo (aumenta a condutividade elétrica da placa). Na placa positiva, são adicionadas fibras de vidro e fibras de polímeros orgânicos, visando o aumento da sua resistência mecânica. Após a preparação da pasta em misturadores, tem-se a etapa do seu empastamento na grade, originando a placa, a partir da qual inicia-se a etapa de cura, com as placas colocadas em estufas para a oxidação do chumbo metálico, secagem e recristalização dos sulfatos básicos de chumbo.

A última etapa é a formação das placas em tanques, onde as placas positivas e negativas são ordenadas alternadamente, contendo uma solução de ácido sulfúrico, com as de mesma polaridade conectadas em série e com uma corrente elétrica constante aplicada ao longo das múltiplas placas. A formação também pode ser obtida a partir de blocos, com as placas positivas e negativas juntamente com os separadores formando o elemento e, nessa mesma disposição, podem ser formadas na bateria já montada. Na etapa de formação, pela aplicação da corrente, são formados o Pb metálico na placa negativa e o PbO₂ na placa positiva.

Nas baterias para motocicletas normalmente a tecnologia utilizada na formação se dá em blocos, depois, essas placas são secadas em fornos ou colocadas em estufas para depois serem montadas. São chamadas as baterias seco carregadas pois, a solução de ácido sulfúrico é condicionada em recipientes de plásticos e introduzidas na bateria no ato de ativação das baterias. A figura 6 mostra um fluxograma do processo até a formação em baterias.

2.3.3.3 Placas

A placa é o eletrodo da bateria, sendo constituída pelo material ativo sustentado pela grade. Em cada elemento da bateria, há um número constante de placas negativas e positivas que são conectadas na sua parte superior pelo borne de ligação, também composto de chumbo. Nas placas negativas que também são chamadas de cátodos, apresentam-se como matéria ativa o óxido de chumbo (PbO) e um agente expensor quando carregadas eletricamente, transformam-se em chumbo esponjoso (Pb) com uma coloração cinza metálico. Nas placas positivas também chamadas de ânodos, apresentam-se como matéria ativa o óxido de chumbo (PbO) e quando carregada eletricamente transformam-se em dióxido de chumbo (PbO_2) com uma coloração castanho claro.

2.3.3.4 Separadores

O separador é um material poroso e isolante que separa as placas positivas e negativas, evitando o contato entre elas e o conseqüente curto circuito, mas permitindo a passagem do eletrólito e dos íons. O separador exerce uma dupla função. Ao mesmo tempo em que previne o fluxo de corrente entre os eletrodos de polaridade oposta, permite o fluxo de íons. Devido a este fato, apenas um material não-condutor e poroso pode solucionar essa duplicidade de uso (BÖHNSTEDT, 1996).

O material que forma o separador deve ser resistente ao ácido sulfúrico diluído, à evolução de oxigênio que ocorre ao longo da operação, à oxidação durante o período de estocagem e ainda, suportar temperaturas entre -40 e 100°C . Os poros devem ser do menor tamanho possível e de distribuição uniforme, de

preferência com diâmetro menor que 1mm para barrar a migração de partículas de chumbo.

Os materiais comumente utilizados são: polietileno, PVC, borracha, celulose e resinas fenólicas impregnadas com celulose ou fibra de vidro.

2.3.3.5 Eletrólito

O eletrólito é o meio condutor pelo qual a corrente elétrica passa carregando os íons que participam das reações químicas. Na bateria ácido-chumbo, o eletrólito é uma solução diluída de ácido sulfúrico. A concentração da solução de ácido sulfúrico depende de alguns fatores, como a resistividade da solução, a temperatura e as exigências de operação. Estas últimas estão relacionadas com o tipo da bateria.

Na maioria das baterias com eletrólito líquido, são necessárias adições periódicas de água. Essas adições devem ser realizadas com água destilada ou desmineralizada, a fim de evitar a contaminação da bateria por impurezas que prejudicariam o seu desempenho. No caso das baterias seladas, principalmente nos modelos com tecnologia VRLA (valve regulated lead acid), o eletrólito é absorvido em separadores fibra de vidro (AGM - absorbed glass mat).

2.3.3.5 Recipiente

São mais conhecidos como caixas ou monoblocos e geralmente são construídos de plásticos. Normalmente de polipropileno reciclado das recicladoras de chumbo, alguns modelos são fabricados com material polivinílico (pvc). Nesses recipientes, são montados os elementos que formam a bateria. Este material deve garantir uma boa isolamento elétrica, térmica e resistência ao impacto, pois neles estarão contidos, além dos elementos de chumbo, o eletrólito e os separadores. Ele é dividido em caixa propriamente dita e tampa normalmente selada, nas caixas de pvc são usadas cola específica.

As caixas são perfuradas nas bordas superiores onde são conectados em série os elementos através de conexões à base de chumbo-liga. Essas conexões são extremamente importantes pois, por elas passa a energia acumulada num elemento que em seu conjunto formam a chamada bateria. Elas são interligadas por

uma solda chamada extrusão que consiste em passar uma alta corrente elétrica por alguns segundos ocorrendo uma fusão no local. As tampas possuem um desenho muito característico, podendo apresentar aberturas para fluxo de gases provocados pela reação eletroquímica ou válvulas acompanhadas de filtros conhecidos como eporexi, dependendo da tecnologia aplicada no desenvolvimento da bateria em questão. Nas extremidades das tampas estão acoplados os pólos ou terminais também constituídos de chumbo liga onde, numa das extremidades, é o terminal positivo e no outro, o terminal negativo. Esses terminais são extremamente importantes, pois eles serão colocados à disposição para a descarga e carga das baterias. A figura 7 mostra o fluxograma de produção de uma bateria com ênfase na produção do material a base de chumbo.

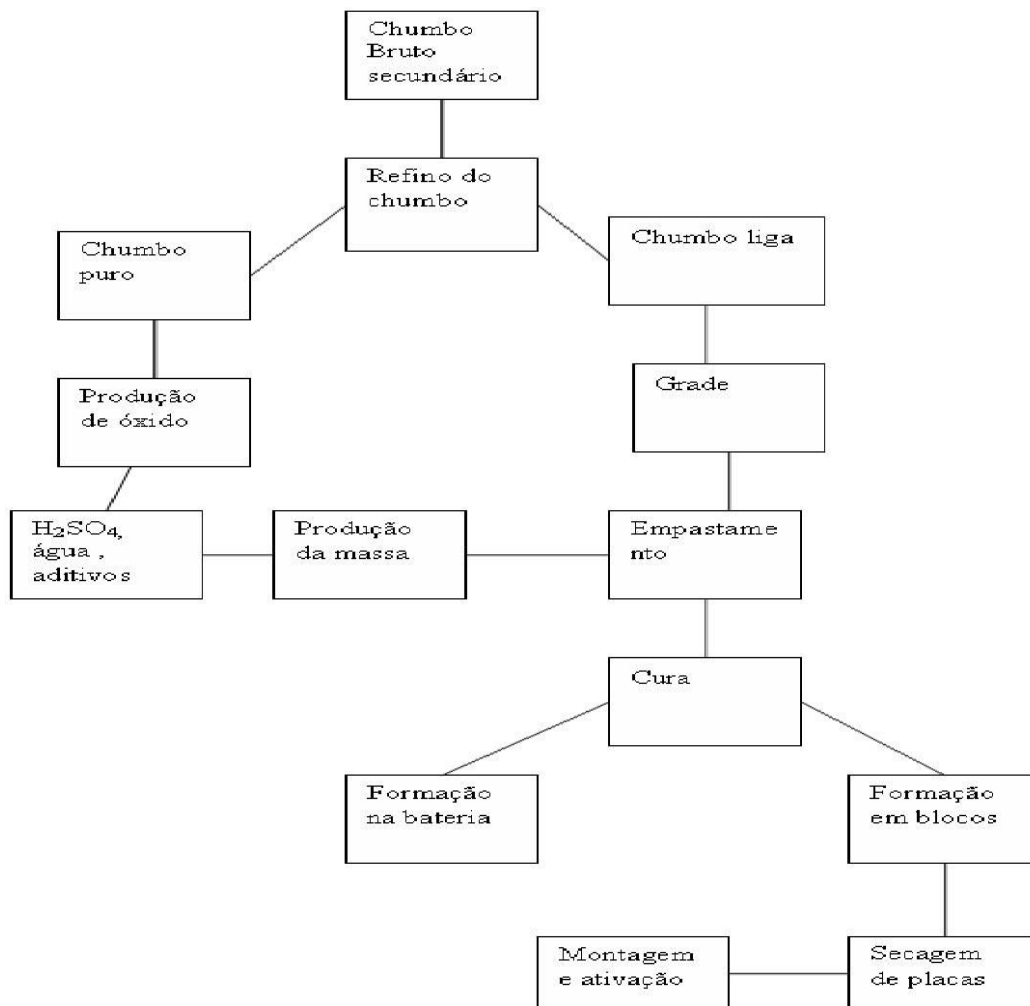


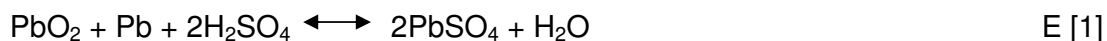
Figura 7 fluxograma do processo de produção de baterias chumbo – ácido. Fonte : autor.

2.3.4 Aspectos relacionados ao estudo elétrico das baterias chumbo-ácido

Nesta etapa do trabalho procurar-se-á repassar as reações químicas que envolvem o processo de armazenamento de energia e algumas definições a respeito do assunto.

2.3.4.1 As reações químicas principais e algumas considerações

No sistema eletroquímico envolvido em um acumulador elétrico, é necessário conhecer a físico-química das reações dos eletrodos e as influências de fatores construtivos e de materiais na cinética destas reações. A reação E [1] mostra a reação global do processo. As baterias são acumuladores baseados na teoria da dupla sulfatação, formalmente as reações eram descritas pela Teoria do Duplo Sulfato de Glastone e Tribe (1883) “ *Double Sulfate Theory*”. A referida teoria, em sua essência indica que, durante o processo de descarga ocorre a formação de sulfato de chumbo em ambos os eletrodos. Isto pode ser representado pela equação E [2.1], que no sentido da esquerda para a direita representa o processo de descarga e no sentido inverso o de carga.



Entretanto, algumas reações indesejáveis ocorrem em paralelo com a reação acima, como por exemplo, o processo de eletrólise da água, que provoca a evolução de oxigênio e hidrogênio nos eletrodos positivo e negativo, respectivamente. Estas reações ocorrem no processo de carga e podem ser representadas pelas equações E[2] e E[3].

No eletrodo positivo:



No eletrodo negativo:



Estas reações são fortemente influenciadas pela presença de impurezas no eletrólito ou no material ativo, principalmente pelo antimônio. Este, ao longo da operação do acumulador, vai sendo eletrodissolvido para o eletrólito, sendo eletrodepositado na superfície das placas negativas, diminuindo sensivelmente a sobre tensão de evolução do hidrogênio sobre o chumbo, facilitando desta forma a saída deste gás. Baseada na teoria da dissociação eletrolítica, as reações que transcorrem nos eletrodos positivo (+) e negativo (-) durante o processo da descarga e da carga do acumulador podem explicar seu princípio de funcionamento da forma como segue.

Os átomos da molécula da água estão ligados entre si com maior força que os íons da molécula do ácido sulfúrico. Devido a este fato, as moléculas polares da água, agindo sobre as moléculas do ácido sulfúrico, decompõem as moléculas deste ácido em íons de hidrogênio (positivos) e íons de sulfato (negativos) segundo a reação química E[4].



A decomposição da molécula de ácido sulfúrico em íons pela ação da água denomina-se dissociação eletrolítica. Como resultado da dissociação eletrolítica da solução temos a formação de íons, independente de haver ou não placas imersas na solução. Como a soma das cargas dos íons positivos de hidrogênio é igual à soma das cargas negativas dos íons de sulfatos, a solução é considerando eletricamente neutra.

2.3.4.2 Processo de descarga

Quando o acumulador chumbo-ácido encontra-se plenamente carregado, a matéria ativa da placa negativa é o chumbo metálico esponjoso e a da placa positiva, o peróxido de chumbo. O processo da produção de corrente está associado à diferença de potencial, isto é, depende do potencial dos eletrodos, que por sua vez, depende do potencial de equilíbrio das reações iônicas e da concentração iônica.

Na placa positiva a reação iônica será:



Para esta reação o potencial de equilíbrio é de 1,75 V. No final do processo de descarga, temos a combinação dos íons de chumbo com os íons de sulfato, formando o sulfato de chumbo, representada pela equação E[6].



Igualmente, o potencial da placa negativa é obtido pela equação E[7].

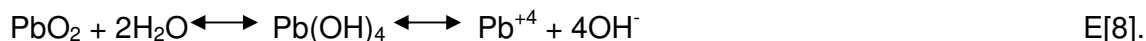


Onde o valor do potencial de equilíbrio, é da ordem de -0,12 V.

Nas condições práticas de operação, sob uma temperatura de 25°C, os valores dos potenciais das placas podem ser aproximados a 1,685 V para placa positiva e -0,356 V para placa negativa. Neste sentido a diferença de potencial entre as placas de um acumulador elétrico chumbo-ácido (força eletromotriz) pode ser aproximada para 2,041 V. No entanto, o valor nominal foi padronizado em 2,0 V.

Devido à interação do eletrólito com os átomos de chumbo da placa negativa, se ioniza uma certa quantidade de átomos de chumbo. Neste caso, os íons positivos de chumbo com duas cargas positivas passam ao eletrólito, enquanto que na superfície da placa negativa ficam dois elétrons por átomo de chumbo. Por este motivo a placa negativa carrega-se negativamente em relação ao eletrólito. Simultaneamente, o peróxido de chumbo (PbO_2) da placa positiva reage com a água próximo a sua superfície formando os íons de chumbo carregados positivamente (Pb^{+4}).

Pode-se representar esta reação pela equação E[8].



Como resultado da interação do material ativo com o eletrólito, nas duas placas, formam-se cargas elétricas: na positiva, os íons de chumbo com quatro cargas positivas; na negativa, elétrons. Entre os elétrons que se encontram na

superfície da placa negativa, como em qualquer carga de mesma polaridade, atuam forças de repulsão. Esta mesma ação observa-se também entre os íons de chumbo positivos que se encontram na placa positiva.

Este estado de carga mantém-se nas duas placas, até que as mesmas sejam ligadas por meio de algum condutor. Feita a ligação entre as placas, o acumulador começa a descarregar-se e os elétrons que estavam na placa negativa, passam para placa positiva. Ao mesmo tempo, os íons positivos de chumbo que se encontram na placa positiva atraem os elétrons livres do condutor.

Assim a passagem dos elétrons, de uma placa a outra, faz fluir uma corrente elétrica no condutor. Cada átomo de chumbo da placa negativa cede dois elétrons que chegando à placa positiva associam-se aos íons de chumbo de quatro cargas (Pb^{+4}). Forma-se então, um íon positivo de chumbo com duas cargas (Pb^{+2}). O Pb^{+2} passa ao eletrólito e une-se com o íon negativo sulfato (SO_4^{-2}), formando uma molécula de sulfato de chumbo ($PbSO_4$).

Devido à baixa solubilidade do sulfato de chumbo no eletrólito, este se satura rapidamente. O sulfato de chumbo desprende-se da solução e deposita-se em forma de pequenos cristais sobre a placa positiva.

Baseado nisto, pode-se deduzir que cada duas moléculas de ácido sulfúrico, uma molécula de peróxido de chumbo e um átomo de chumbo, durante a descarga, originam duas moléculas de sulfato de chumbo (uma em cada placa) e duas moléculas de água (próximo da placa positiva). Quando o acumulador descarrega-se, a energia química transforma-se em elétrica, a qual pode ser transformada em energia térmica, mecânica ou luminosa.

2.3.4.3 Processo de carga

Para carregar o acumulador, liga-se o terminal positivo de uma fonte de energia elétrica CC ao conjunto de placas positivas do acumulador e o terminal negativo da fonte ao conjunto de placas negativas. Enquanto ligado à fonte de energia elétrica, em seu interior os elétrons fluem continuamente de seu terminal positivo ao terminal negativo. No terminal negativo aparece excesso de elétrons e no terminal positivo deficiência. A fonte de energia elétrica, através do seu terminal positivo atrairá elétrons da placa positiva do acumulador. Neste caso, o sulfato de chumbo oxidar-se-á até converter-se em peróxido de chumbo. Ao mesmo tempo em

que ocorre o deslocamento dos dois elétrons da placa positiva ao terminal positivo da fonte, dois elétrons passam do terminal negativo da fonte à placa negativa do acumulador e unem-se aos íons Pb^{+2} que se encontram próximo à placa negativa.

Ao se formar átomos de chumbo metálico, novas porções de sulfato de chumbo ionizado passam das placas ao eletrólito. O sulfato de chumbo deixa de ionizar-se quando todo o sulfato de chumbo que existe na placa converte-se em chumbo metálico. Simultaneamente, com a formação de peróxido de chumbo na placa positiva e de chumbo na negativa, os íons de hidrogênio (H^+) unem-se com íons de sulfato cargas (Pb^{+2}). O Pb^{+2} passa ao eletrólito e une-se com o íon negativo sulfato (SO_4^{-2}) formando moléculas de ácido sulfúrico.

Em resumo, as reações químicas durante a carga sucedem-se em ordem inversa com relação às reações químicas durante a descarga. Para melhor entendimento, a equação E[1] apresenta os mecanismos das reações de carga e descarga, discutidos nos itens anteriores. Durante a carga do acumulador diminui a quantidade de água no eletrólito e aumenta a do ácido sulfúrico. Devido à isso, a densidade do eletrólito aumenta, até que todo o sulfato de chumbo torne-se substância ativa. No instante final do processo de carga, a densidade do eletrólito é igual a densidade no princípio da descarga. O aumento da densidade do eletrólito até o valor que tinha antes da descarga é um dos principais índices do término da carga.

Deve-se assinalar que quando termina a transformação do sulfato de chumbo em materiais ativos, a tensão nos terminais do acumulador atinge maior grandeza e logo permanece constante. A constância da tensão durante a carga é outro indicativo do final da carga.

Carregando o acumulador completamente e não se desligando a fonte de alimentação, a energia elétrica consumida a partir deste momento, será utilizada para a dissociação de água em hidrogênio e oxigênio. Forma-se, portanto, uma mistura gasosa explosiva.

A decomposição da água vem sempre acompanhada de um intenso desprendimento de gases, sendo também outro indício do término da carga. Não se deve esquecer que a decomposição da água e, por conseguinte, o desprendimento de gases, inicia-se muito antes da carga estar completa. Portanto, o fenômeno pode servir de sinal de término da carga somente quando vier acompanhado da permanência da densidade do eletrólito e da tensão, as quais indicam a completa transformação do sulfato de chumbo em matéria ativa.

Pode-se exemplificar a relação de concentração de ácido sulfúrico ou seja, densidade com estado da carga, veja tabela 5.

Tabela 5-representa a relação entre estado de carga e a densidade

Estado da carga	Volts	Densidade	Condição
100% carga	12,60	1.265	OK
75% carga	12,40	1.210	OK
50% carga	12,10	1.160	Carregar
25% carga	11,90	1.120	Carregar
0% carga	Menos que 11,80	Menos que 1.100	Carregar

Fonte : catálogo nacional da Ajax indústria de baterias.

2.3.4.4 Parâmetros e alguns aspectos de operação das baterias

As baterias chumbo ácido tem alguns parâmetros elétricos e mecânicos definidos na NBR 10963 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicletas) e a NBR 10964 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicletas – verificação das características elétricas). Ambas as normas se restringem às baterias para motocicletas, objetivo principal deste trabalho.

A capacidade nominal (C_{10}) é definida como a corrente máxima que uma bateria pode fornecer continuamente por 10 horas, sem causar sua inutilização. A sua unidade de medida é dada em amperes-hora (Ah). A sua capacidade deve ser informada pelo fabricante dependendo do modelo e deve ser verificada de acordo com o item 5.2 da NBR 10963. A capacidade da bateria pode ser dada por C_{20} tendo como princípio a capacidade nominal.

Curva de descarga de uma bateria é caracterizada pelo comportamento da tensão em função do seu nível de descarga. Na curva são destacados três valores: tensão de pico, tensão nominal e tensão totalmente descarregada. Geralmente, os gráficos fornecidos pelos fabricantes para a curva de descarga são funções da taxa da capacidade. Essa curva pode ser determinada pela NBR 8282.

Auto descarga é resultante de correntes internas na bateria, que ocasionam perda de carga ainda que não utilizada a bateria. Normalmente auto descarga está diretamente relacionada com possíveis contaminantes no material

ativo, grade e eletrólito. Também está diretamente ligada a temperatura de armazenamento e umidade.

Nas baterias seco-carregadas vários fatores podem causar a auto descarga e a possível não ativação da bateria. Todos citados na ditas baterias úmido-carregadas e consideraremos a mal formação das placas, secagens inadequadas e armazenamento inadequado.

A vida útil é dada em números de ciclos, cargas seguida de descarga, que uma bateria pode fornecer. A durabilidade de uma bateria pode ser ensaiada de acordo com item 5.8 da NBR 10964.

Corrosão - o eletrodo positivo é corroído pela transformação do chumbo metálico em óxidos de chumbo mas especificamente em PbO_2 . A corrosão leva ao aumento da resistência interna da bateria e perda do material ativo no eletrodo.

Sulfatação é recristalização dos finos cristais de PbSO_4 em grânulos de PbSO_4 . Isto ocorre durante longos períodos de baixo estado de carga. A sulfatação reduz os volumes de chumbo e de eletrólito. Correspondentemente, as capacidades de carga e de fornecimento de energia se reduzem até o material não conseguir receber carga e com total inutilização da bateria.

Degradação - consiste na fadiga mecânica no material ativo do eletrodo positivo. Isto ocorre devido a constante transformação de PbO_2 em PbSO_4 e vice versa no processo de carga e descarga. Este processo pode ocasionar uma ruptura do eletrodo, danificando a bateria principalmente em longos processos de descarga.

Tensão nominal é definida por 2.2 V por célula portanto, um conjunto de seis células é um dispositivo que fornece 12.6 V.

Tensão final de carga é a tensão na qual o acumulador é considerado tecnicamente descarregado, e abaixo da qual o acumulador é comprometido.

Tensão inicial de carga é a tensão na qual o acumulador é considerado tecnicamente carregado, e acima da tensão inicial acumulador é comprometido se continuar sendo carregado. A temperatura no instante final da carga não pode passar de 45°C .

Tensão de flutuação também conhecida como tensão de recarga, é uma tensão acima da tensão de circuito aberto, acrescida apenas do necessário para recarregar e manter o acumulador no estado de plena carga.

2.4 ATIVIDADE DESENVOLVIDA – O PROBLEMA

2.4.1 Introdução

As baterias para motocicletas, até poucos anos atrás, eram dispositivos elétricos pouco exigidos, pois as motocicletas tinham sistemas elétricos simples e onde as baterias funcionavam simplesmente como reguladoras de tensão. O mercado era pequeno, por isso as grandes fábricas, se interessavam somente em produzir baterias para automóveis não se interessando pela produção deste tipo de dispositivo. Abriam oportunidade para as pequenas fábricas de baterias, como a Konder Moto, que decidiu investir nesse tipo de acumulador. Atualmente, a maioria das fábricas tradicionais está entrando neste tipo de mercado, pois os números mostram um forte crescimento no segmento das motocicletas, acompanhando a indústria automobilista, que tem também um forte crescimento nos últimos anos.

Sabe-se que a importação deste tipo de acumulador é considerável, principalmente os de origem chinesa, com uma infinidade de marcas no mercado. Mas a principal bateria no mercado é a de marca YUASA, de origem japonesa, reconhecida como uma das melhores do mundo, sendo a bateria oficial de montadoras como a HONDA, marca de extrema importância no mercado brasileiro uma das pioneiras, fornecendo uma motocicleta para várias faixas de público.

Portanto, quando se fala de baterias para motocicletas, as baterias YUASA são referência. As baterias Konder querem ser referência também e para isso, procura desenvolver uma bateria que assegure rendimento elétrico parecido com a dita marca.

Sabe-se da dificuldade de desenvolvimento técnico no assunto pois, existem poucos grupos de estudos no Brasil em torno da área eletroquímica com aplicação em acumuladores. A maioria da literatura é composta de autores internacionais tornando mais difícil o trabalho quando se fala de uma pequena empresa no ramo.

A principal fonte de pesquisa são os colegas de empresas similares, conhecidos no principal encontro do assunto a nível nacional, denominado EMBAT (ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES DE BATERIAS) promovido pelo instituto paranaense de apoio à indústria - LACTEC, nas pessoas do Dr Patrício

Rodolfo Impinnisi e Dr Carlos Ventura D'Alkaine professor titular da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR).

O trabalho se constitui numa avaliação, do processo atual, de produção dos elementos que formam uma bateria e procura diagnosticar possíveis falhas e apontar soluções para o melhoramento do rendimento elétrico.

Tendo como referência a qualidade das baterias YUASA, pretende-se redimensionar as baterias Konder com possíveis melhorias no processo, aplicar segundo a NBR10964 e a NBR 10963, o teste de capacidade nominal e determinar a curva de descarga a baixa temperatura. Para validar o trabalho proceder-se-á análises comparativas da bateria Konder, antes das melhorias no processo e após as melhorias, comparando os resultados com uma bateria YUASA e com outras marcas nacionais.

2.4.2 Modelo da bateria a ser trabalhada

A bateria utilizada nos testes é chamada KTX5L-B. Esse modelo de bateria é destinado ao uso de motocicletas de 125 cilindradas, com partida elétrica, para uso em modelos da Honda Titan 125 ES, NXR 125 BROS, EZ 90 CUB, BIZ C100 ES, entre outros. Essa bateria tem vários modelos similares no mercado entre eles, o modelo KTX5L-BS da marca YUASA, bateria utilizada pelas grandes montadoras.

2.4.3 Estrutura do trabalho de melhoramento

Na figura 6 tem-se o fluxograma de produção da bateria chumbo-ácido onde se identificam vários pontos que possam apresentar problemas na produção, ou melhor, vários pontos onde se pode melhorar o processo e assim garantir uma melhoria significativa no produto.

Neste trabalho vamos levantar as seguintes situações:

- Maior controle do refino do chumbo;
- Estabelecer que o chumbo puro tenha uma diminuição significativa nos seus contaminantes;

- Estabelecer a liga de trabalho, com valores baixos de contaminantes, em relação ao chumbo liga,
- Na produção de óxido estabelecer alguns parâmetros importantes;
- Reavaliar a solução eletrolítica em seu processo de diluição e envasamento com atenção especial nos contaminantes.
- Balancear as placas e a solução eletrolítica para a bateria KTX5L-B, especificando seus rendimentos elétricos comparando-os com outras marcas.

O trabalho absteve-se de estudos em relação ao processo de formação, secagem e montagem das baterias.

Após estudo dos itens acima citados procedeu-se a uma avaliação quantitativa das placas, material ativo, solução eletrolítica de três modelos de baterias, as quais trataremos como K_1 , K_2 , Y_3 , C_4 , C_5 e C_6 as quais são respectivamente:

- K_1 – bateria Konder modelo KTX5L-B, sem as melhorias propostas.
- K_2 – bateria Konder modelo KTX5L-B, com as melhorias propostas.
- Y_3 – bateria Yuasa modelo YTX5L-BS.
- C_4 – bateria de marca não revelada.
- C_5 – bateria de marca não revelada.
- C_6 – bateria de marca não revelada

Em seguida aplicaram-se os itens 5.5 5.6 da norma NBR 10964, que especifica o ensaio elétrico de determinação da capacidade nominal de uma bateria, o chamado C_{10} e o ensaio de descarga rápida a baixa temperatura, ensaios também são citados na norma NBR 10963, nos itens 5.5.2 e 5.3., além da determinação da curva de características de descarga.

2.5 MATERIAIS E MÉTODOS

2.5.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho são todos da empresa Konder Moto, exceto as baterias de outras marcas que serviram de referência para comparação dos rendimentos elétricos. Os materiais utilizados na produção dos elementos formadores das baterias e no presente trabalho são:

- Chumbo bruto;
- Chumbo refinado;
- Óxido de chumbo;
- Grade;
- Material ativo positivo;
- Material ativo negativo;
- Placa negativa;
- Placa positiva;
- Solução eletrolítica;
- Bateria KTX5L-B;
- Bateria KTX5L-B;
- Bateria YTX5L-BS;
- Bateria TX5L-BS;
- Bateria ...TX5L-B;
- Bateria ...TX5L-B;
- Bateria TX5L-B;

2.5.2 Métodos

A metodologia utilizada neste trabalho está dividida em três partes. A primeira parte está relacionada com a descrição e a avaliação do processo atual de produção com as devidas observações sobre algumas mudanças para melhoria no processo. A segunda parte está relacionada com o balanceamento dos materiais

contidos e que constituem os elementos de uma bateria. Esse balanceamento será em função do modelo de bateria, fato citado no capítulo anterior, os quais são:

- Grade positiva formada por uma liga de chumbo metálico;
- Grade negativa formada por uma liga de chumbo metálico;
- Material ativo positivo;
- Material ativo negativo;
- Placa positiva;
- Placa negativa;
- Eletrólito constituído por uma solução de ácido sulfúrico;

A terceira parte contém os ensaios elétricos realizados de acordo com os itens 5.5 5.6 da norma NBR 10964, a qual especifica o ensaio elétrico de determinação da capacidade nominal da bateria, o chamado C_{10} e o ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Esses ensaios também são citados na norma NBR 10963 nos itens 5.5.2 e 5.3. e a determinação da curva característica de descarga.

2.5.2.1 Processo atual de produção

2.5.2.1.1 Chumbo bruto

O chumbo bruto utilizado pela Konder Moto é de sua própria recicladora, como quase todo o chumbo utilizado no Brasil, e é chamado de chumbo secundário. O chumbo é dividido em dois tipos fundamentais e, na recicladora, é retirado pelo processo pirometalúrgico.

O primeiro chumbo é chamado de liga de chumbo puro, que se caracteriza por ser um chumbo com baixo teor de outros metais presentes nas baterias. É usualmente chamado de chumbo mole, porque realmente é mais maleável e apresenta uma cor cinza escuro se aproximando da cor do chumbo primário. Conforme a figura 8.



Figura 8– Chumbo mole. Fonte: autor

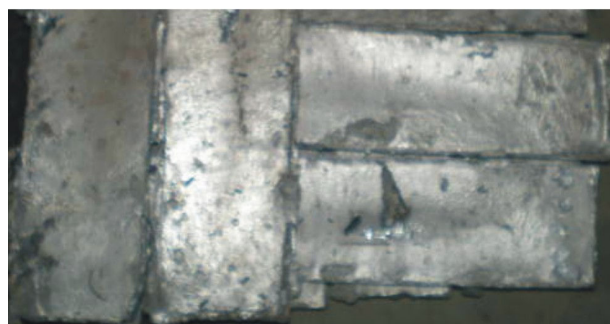


Figura 9 – Chumbo duro. Fonte: autor.

O segundo chumbo denominado chumbo liga, que se caracteriza por ser um chumbo com altos teores de outros metais presentes nas baterias. É usualmente também chamado de duro porque é menos maleável e apresenta uma cor cinza claro, caracterizando-se por ser um chumbo não puro. Ver figura 9.

Em termos médios, o chumbo da recicladora da empresa konder Moto apresenta-se com os teores de outros elementos conforme a Tabela 6. Esses dados são resultados de várias amostras analisadas no espectrofotômetro de emissão ótica de uma outra empresa do ramo de baterias, que não autorizou a divulgação de seu nome.

Tabela 6 - Termos médios, os percentuais dos elementos presentes no chumbo (Konder)

Elementos	Liga de Chumbo Puro	Chumbo Liga
Sb	0,095%	1,652%
Sn	0,0094%	0,352%
As	0,004%	0,028%
Cu	0,007%	0,060%
Se	0,003%	0,0038%
Ag	0,005%	0,0045%
Bi	0,020%	0,0151%
Cd	0,0001%	0,0001%
Ni	0,0001%	0,0005%
Zn	0,0002%	0,0004%
Fe	0,006%	0,0001%
Al	0,0001%	0,0001%
Ca	0,002%	0,002%
Te	0,0007%	0,0008%
S	0,0001%	0,0001%
Chumbo (Pb)	99,84%	97,88%

Fonte: autor

2.5.2.1.2 Chumbo refinado

O chumbo depois de ser acondicionado na empresa (figura 10), passa pelo processo de refino, que consiste em eliminar as impurezas do chumbo ou contaminantes.

O refino é um processo realizado num cadinho, que tem acoplado um misturador, que gira a aproximadamente 200 rpm e um queimador de 80.000 kcal que é alimentado por gás natural. O refino tem capacidade para aproximadamente 3.000 kg de chumbo por batelada. O refino do chumbo se constitui em elevar a temperatura do chumbo, colocando alguns reagentes oxidantes que eliminarão, através da formação de óxidos, os elementos indesejáveis ao chumbo. O processo de refino é de extrema importância na produção de baterias. As figuras 11 e 12 ilustram o cadinho e o chumbo sendo ligoteado.



Figura 10– chumbo armazenado. Fonte: autor.



Figura 11 – refino do chumbo. Fonte: autor.



Figura 12 – refino do chumbo, detalhe do cadinho e o ligoteamento do chumbo. Fonte: autor.

A liga de chumbo puro depois de refinada, é encaminhada ao setor do moinho onde se fará a obtenção do óxido de chumbo.

O chumbo liga depois de refinado passa por um processo de formação da liga, a qual se constitui de adicionar determinados elementos ao chumbo para a formação das ligas. Esse processo metalúrgico ocorre com um controle rígido de temperatura. Essas ligas de chumbo serão encaminhadas para a fundição de grades e fundição de peças constituintes das baterias, como os terminais, as conexões e o material para soldas, no setor de formação das placas e montagem das baterias. Nessa etapa o chumbo é analisado no laboratório químico da empresa que libera o material que apresente as especificações mínimas permitidas (figura 13).

Essas análises, chamadas via úmida, são análises volumétricas que se restringem a um número mínimo de elementos a serem analisados. Para manter o nível de qualidade desejado, enviam-se amostras, periodicamente, para um laboratório credenciado, o qual utiliza um espectrofotômetro de emissão ótica. O corpo de prova enviado pode ser visto na figura 14.



Figura 13 – laboratório químico. Fonte: autor.



Figura 14 – corpo de prova. Fonte: autor.

2.5.2.1.2.1 Liga de chumbo puro

A liga de chumbo puro, também chamada de chumbo mole, que originará o óxido, deve ser de qualidade em relação ao seus contaminantes. A Norma NBR 6179 indica a composição química necessária para se obter o chumbo refinado (ver tabela 7).Podemos observar que a tabela 7 não contempla alguns elementos, presentes na tabela 6. Segundo Hans Bode, no seu livro “Lead-acid Batteries”, a composição é um pouco diferente (ver tabela 8).

Tabela 7-composição química do chumbo refinado

Elemento	Composição			
	Chumbo grau extra	Chumbo grau corrosão	Chumbo comum	Chumbo grau ao cobre
Prata, máx.	0,0010%	0,0015%	0,0050%	0,020%
Cobre,máx.	0,0010%	0,0015%	0,0015%	0.0800%
Cobre, mín.	—	—	—	0,0400%
Prata e cobre juntos, máx.	—	0,0025%	—	—
Arsênio, máx.	0,0010%	—	—	—
Antimônio, máx	0,0010%	—	—	—
Estanho, máx.	0,0010%	—	—	—
Arsênio, antimônio e estanho juntos, máx.	0,0020%	0,0020%	0,0020%	0,0020%
Zinco, máx.	0,0010%	0,0010%	0,0010%	0,0010%
Ferro, máx.	0,0010%	0,0020%	0,0020%	0,0020%
Bismuto, máx.	0,0100%	0,0500%	0,0500%	0,0250%
Chumbo (diferença), mín.	99,985%	99,940%	99,940%	99,90%

Fonte : Especificação do chumbo de acordo com NBR 6179.

Tabela 8- Especificações do chumbo em German, British, American e Russian.

Impurity	DIN 1719 (German)	British Standards	ASTM(U.S.)	GOST (USSR)
Ag	0,001	0,002	0,0015	0,0003
Bi	0,01	0,005	0,050	0,004
Cu	0,005	0,003	0,0015	0,0005
Fe	0,0025	0,003	0,002	0,001
As	0,0015	Trace	Trace	0,0005
Sb	0,004	0,002	Trace	0,0005
Sn	0,001	Trace	0,002	0,0005
zn	0,001	0,002	0,001	0,001
Total	0,01	0,01	0,06	0,008
Pb	99,99	99,99	99,94	99,99

Fonte : Hans Bode “Lead-acid Batteries”

No presente trabalho optou-se por trabalhar com um chumbo com o mínimo de contaminantes. Prengaman é um pesquisador que apresenta uma tabela

um pouco menos rígida e com bons resultados, considerando-se que o chumbo utilizado no Brasil é chumbo secundário e que, normalmente, apresenta níveis altos de contaminações. No laboratório da empresa Konder Moto consegue-se analisar antimônio, arsênio, estanho, selênio e cobre. Normalmente, quando se consegue baixar o percentual desses principais contaminantes, o restante fica abaixo dos referidos para um chumbo grau extra especificado na NBR 6179.

Para garantir um diferencial nesse trabalho resolveu-se enviar para análise no espectrofotômetro de emissão ótica, amostras que foram previamente analisadas por via úmida, no laboratório da empresa. Foi uma amostra de chumbo₁, material normalmente utilizado pela empresa e uma de chumbo₂ obtido pelo trabalho de melhoramento, cujos resultados estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - valores dos contaminantes na liga de chumbo puro

Elementos	chumbo ₁ ,	chumbo ₂	Prengaman
Sb	0,095%	0,0043%	0,001%
Sn	0,0094%	0,0028%	0,001%
As	0,004%	0,001%	0,001%
Cu	0,007%	0,0001%	0,001%
Se	0,001%	0,003%	0,001%
Ag	0,005%	0,0063%	0,003%
Bi	0,020%	0,020%	0,020%
Cd	0,0001%	0,0001%	0,001%
Ni	0,0001%	0,0002%	0,001%
Zn	0,0002%	0,0004%	0,001%
Fe	0,0001%	0,006%	0,001%
Al	0,0001%	0,0001%	0,001%
Ca	0,002%	0,002%	0,001%
Te	0,0007%	0,0001%	0,001%
S	0,0001%	0,0001%	0,0001%
Chumbo (Pb)	99,85%	99,95%	99,96%

Fonte: autor/ Prengaman

2.5.2.1.2.2 Ligas de chumbo

O chumbo liga consiste em uma composição homogênea de chumbo refinado combinado com antimônio, estanho, arsênio e selênio. Essas ligas de

chumbo serão encaminhadas para a fundição de grades e de peças constituintes das baterias, como os terminais, as conexões e o material para soldas no setor de formação das placas e montagem das baterias.

Nas ligas de chumbo também se deve ter cuidado com relação aos contaminantes, boa resistência mecânica e boa condutividade elétrica, de modo a garantir uma boa durabilidade das placas e a longevidade da bateria. Tecnicamente, uma liga que garanta uma boa ciclagem da bateria.

São várias ligas existentes no mercado divididas em três grandes grupos. No primeiro grupo se encontram as ligas mais antigas com alto teor de antimônio, trabalhada ao longo de vários anos. Esse tipo de liga vem sendo abandonada porque o antimônio vai sendo eletrodissolvido para o eletrólito, sendo eletro depositado na superfície das placas negativas e com isso diminuindo sensivelmente a sobre tensão de evolução do hidrogênio sobre o chumbo. Consequentemente a bateria perde água tornando-se uma bateria com maior manutenção. O segundo grupo é constituído de ligas de chumbo selênio, que consiste de uma liga de chumbo com baixo teor de antimônio e que dá origem à baterias de pouca manutenção. O terceiro grupo consiste de ligas de chumbo-cálcio, que deram origem às baterias sem manutenção, pois não consomem água. A tabela 10 apresenta algumas referências em termos de ligas.

As ligas trabalhadas na Konder Moto são as ligas de alto teor de antimônio, usadas nos terminais e conexões. As ligas de chumbo selênio são usadas nas baterias, tendo-se uma bateria de baixa manutenção.

O processo de formação de uma liga consiste em adicionar os metais necessários para a correção do chumbo refinado. Normalmente são adicionados antimônio, estanho, arsênio e selênio. Para isso retira-se uma amostra do chumbo, que é encaminhado para o laboratório, onde são analisados antimônio, arsênio e estanho. Dependendo do percentual apresentado eles são corrigidos. O selênio não é analisado pois, normalmente encontram-se apenas traços, por isso é simplesmente adicionado o valor percentual necessário a uma liga.

Nesse processo, temos cuidado com a temperatura ao adicionar os elementos, respeitando a formação das ligas e não perdendo os metais na forma de óxidos e fumos metálicos, no caso de manter por muito tempo o processo em elevadas temperaturas.

Para o trabalho de melhoramento foram ajustados alguns parâmetros da liga, analisados por via úmida e comprovados em análise do espectrofotômetro de emissão ótica. Esses valores não foram liberados para publicação neste documento. A tabela 11 apresenta algumas funções dos metais.

Tabela 10 - apresenta algumas referências para ligas

Materiais de referência da BCI					
Elemento	1	3	6	CA	CS
Al	0,0005	0,0005	0,0005	0,019	0,018
Sb	1,08	2,70	5,98	0,0003	0,001
As	0,136	0,151	0,169	0,0003	0,0005
Bi	0,0103	0,0073	0,0046	0,0105	0,010
Ca	0,0005	0,0005	0,0005	0,111	0,085
Cu	0,0107	0,053	0,057	0,0003	0,0004
Fé	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004
Ni	0,0003	0,0004	0,0004	0,0002	0,0002
Se	0,0142	0,0005	0,0005	0,0002	0,0001
Ag	0,0018	0,0012	0,0010	0,0017	0,0017
S	0,0015	0,0037	0,00037	0,0005	0,0005
Sn	0,19	0,165	0,306	0,001	0,272
te	0,001	0,001	0,002	0,0003	0,0001
zn	0,003	0,003	0,003	0,005	0,003

Fonte : Prengaman (X ENBAT).

Tabela 11- funções de alguns metais na ligas de chumbo.

Elementos	Endurecedores	Nucleantes	Depressores tensão	anticorrosivo
As	X			
Ca	X			
Sb	X			X
Sn	X			X
Se		X		
S		X		
Cu		X		
Ni			X	
Ag				X

Fonte : autor

2.5.2.1.3 Produção de óxido

A produção de óxido de chumbo PbO ocorre no moinho de bolas. O chumbo puro depois de refinado é encaminhado para o setor de produção de óxido. Ele é fundido em forma de bolas conforme as figuras 15 e 16, e alojado no alimentador.



Figura 15 – fazendo as bolas de chumbo. Fonte: autor.



Figura 16 – Elevador, alimentador e moinho. Fonte: autor.

O moinho é mantido numa sala acústica, pelo ruído que gera. O chumbo se converte em óxido acerca de 160 graus centígrados. O moinho é acoplado ao filtro manga onde há sucção do óxido para os silos de armazenagem do material. Esse processo exige um controle rígido de temperatura e de sucção pelo filtro, pois a oxidação do chumbo pode ocorrer em vários PbO_x , só interessando o PbO . Na produção de óxido de chumbo mantém-se as especificações da tabela 12.

Tabela 12 - Especificações de óxido de chumbo.

Materiais	PbO
Chumbo livre (Pb^0)	28 %
Absorção ácida	240g / cm^3
Densidade	1,22g / cm^3
Temperatura	30 $^{\circ}C$

Fonte: autor

Para manter esta especificação, o material é coletado a cada hora e analisado no laboratório da empresa por ensaios físico-químicos rápidos.

No trabalho procurou-se desenvolver um sistema de controle que utiliza os três silos, de modo a liberar o óxido dentro da especificação para a fabricação do material ativo, com um tempo de cura de 24 horas. Nesse período o chumbo tende a se oxidar e se estabilizar em 28% de chumbo livre, não provocando reações de oxidação na massa e assim originando desagregação do material ativo da grade, fenômeno facilmente encontrado antes de tal procedimento. A figura 17 mostra uma amostra de óxido de chumbo.



Figura 17 – amostra de óxido de chumbo. Fonte: autor

2.5.2.1.4 Produção de grade

Esse processo ocorre em uma máquina chamada fundidora, que consiste em um cadinho onde o chumbo é fundido e escorre por gravidade para os moldes chamados de conquilhas. A fundidora exige um controle rígido de temperatura com sistema de refrigeração constante dos moldes.

Desses moldes sai um conjunto de grades denominados painéis conforme a figura 18. Esses painéis são colocados em *palets* e depois encaminhados ao setor de empastação.

Para uma melhoria significativa na padronização da espessura das grades utilizou-se um novo produto como desmoldante. Esse desmoldante tem uma granulometria mais fina e uniforme, em relação ao desmoldante anterior, tendo aumentado consideravelmente a produção de painéis por máquina e diminuído em cerca de 100% o consumo de desmoldante. Também foi alterado o controle de temperatura do molde, do cadinho e de seus periféricos garantindo que os metais importantes para a liga não se oxidem no cadinho e no sistema de fundição das grades.



Figura 18 – setor de fundição de grades. Fonte: autor.

2.5.2.1.5 Produção do material ativo e empastação.

O óxido de chumbo é levado por elevadores e por uma tubulação para o setor de produção do material ativo e empastação, onde há uma balança suspensa, onde o óxido é pesado e transportado por uma tubulação para o misturador onde são acrescentados os outros produtos para a formação da massa de material ativo.

Esta massa é empastada nos painéis, que são um conjunto de grades. Esse processo está ilustrado nas figuras 19 e 20. Depois de empastados, os painéis passam por um secador contínuo, onde é monitorada a temperatura e a umidade. Em seguida são encaminhados ao processo de cura.

São produzidos nesse processo dois tipos de massa. Uma massa que dá origem ao material ativo da placa positiva e que tem como característica uma massa de cor amarelada. A segunda massa dá origem ao material ativo negativo com cor característica cinza, pigmentação de origem proveniente do negro de fumo.



Figura 19 – setor de empastação. Fonte: autor.



Figura 20 – detalhe antes e depois dos painéis serem empastados . Fonte: autor

Na tabela 13 estão especificados os componentes das duas pastas que darão origem ao material ativo da placa positiva e o material ativo da placa negativa.

Tabela 13 - Materiais usados na produção dos materiais ativos.

Produtos	Massa positiva	Massa negativa
Óxido de chumbo	x	x
Sulfato de bário		x
Lignina		x
Negro de fumo		x
Acido sulfúrico	x	x
Água	x	x
Fibra sintética	x	x
Óleo		

Fonte: Autor

Dentre os produtos que formam a massa dos materiais ativos, há uma especial atenção na concentração do ácido sulfúrico, pois ele está diretamente ligado a um maior rendimento elétrico da bateria.

Como está especificado na tabela 13, a massa negativa é composta de óxido de chumbo, ácido sulfúrico, água, fibra sintética, óleo e o chamado agente expensor. O agente expensor é formado por negro de fumo, lignina, sulfato de bário.

A massa negativa terá depois de formada (carregada eletricamente), a presença do chumbo esponjoso. De acordo com a morfologia apresentada a seguir vamos entender porque a concentração de ácido sulfúrico é tão importante para o melhoramento energético do acumulador.

A figura 21 apresenta a frente de reação que acontece em uma determinada placa que está sendo formada.

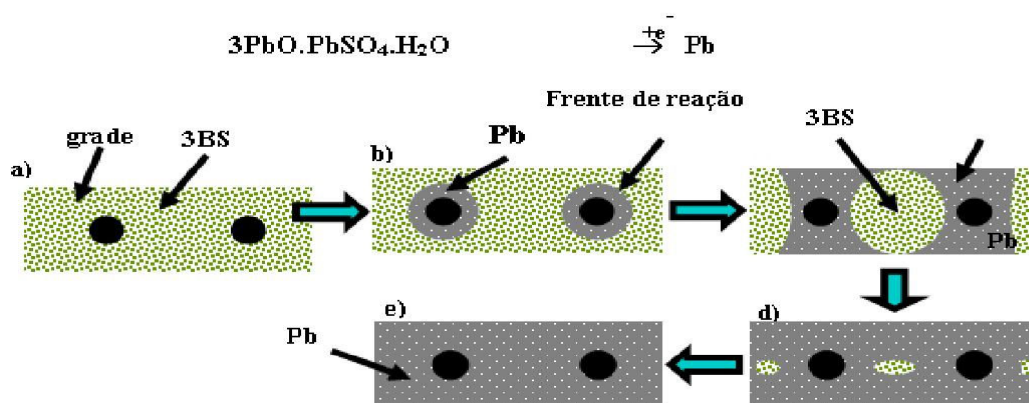


Figura 21 – detalhe da formação da placa negativa. Fonte: IX ENBAT.

Neste processo é muito importante a participação do H_2SO_4 que cria um meio ácido. Na realidade, a reação inclui o íon H^+ .

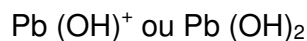


O processo passa por dois estágios , descritos a seguir.

Primeiro estágio:

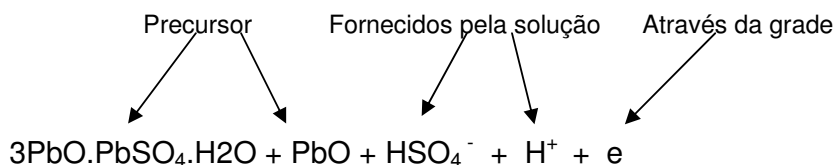
Crescimento do chumbo esponjoso e formação do PbSO_4 na superfície interna do Pb e o desaparecimento do PbO e 3BS(sulfato tri- básico) com consolidação da macro porosidade. O pH neste estágio, na região onde acontecem as

transformações, é provavelmente levemente alcalino. Nestas condições as espécies solúveis são:



E [10]

Este fato mostra que a reação geral pode ser descrita por:



E [11]

Através de Pb (OH)^+ ou Pb (OH)_2 . Esqueleto esponjoso de chumbo coberto por cristais de PbSO_4 . A figura 22 apresenta o comportamento da reação na placa negativa.

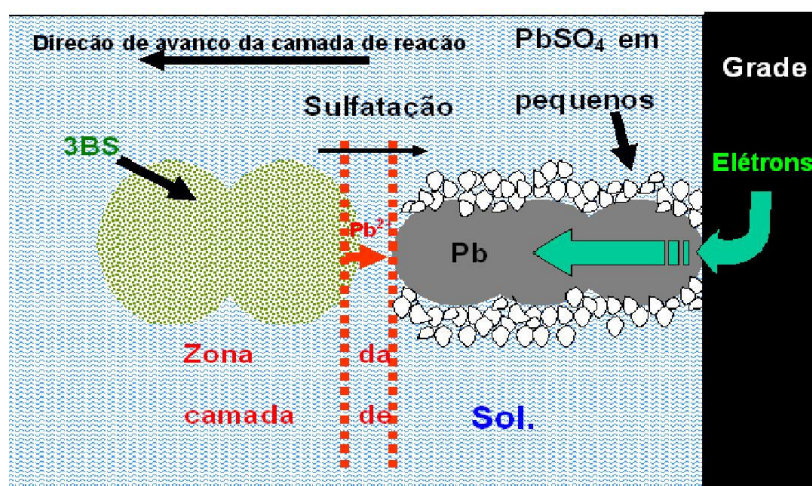


Figura 22 – comportamento da reação na placa negativa. Fonte: IX ENBAT.

Segundo estágio:

A partir do PbSO_4 se cria uma nova micro estrutura de Pb (micro porosidade ou nano porosidade).

Após o esgotamento do PbO e 3BS do precursor, em cada região, o pH na superfície do Pb esponjoso é ácido ($\text{pH} < 7,0$) e a espécie solúvel será Pb^{2+} .

Nestas circunstâncias a reação será:



E [12]

No final do segundo estágio toda a placa é de Pb que mostra que o sulfato se transformou em Pb com estrutura de agulhas, ou seja, com nano porosidade. Portanto, a morfologia da placa negativa pode ser descrita por um esqueleto esponjoso de Pb (chumbo estrutural) e um chumbo que participa das reações de carga e descarga (chumbo energético), formado por cristais arredondados que apresentam uma elevada rugosidade em sua superfície gerando a nano porosidade. O esqueleto dá a resistência mecânica e a macroporosidade permite o transporte de H_2SO_4 à zona de reação. O chumbo energético dá a micro ou nano porosidade superficial, gerando uma grande área eletroquímica. A quantidade de cada um depende da produção da massa e das condições de cura e do processo de sulfatação durante o soaking (embebimento) e durante a formação(carregador elétrico). A massa positiva terá depois de formada (carregada eletricamente), a presença de peróxido de chumbo. De acordo com a morfologia apresentada a seguir vamos entender porque a placa positiva é bem mais complexa e a concentração de ácido sulfúrico é tão mais importante em relação a placa negativa, quando relacionamos com o melhoramento energético do acumulador.

São possíveis a formação de duas fases identificáveis de PbO_2 diferentes:

O de $\alpha\text{-PbO}_2$ e o de $\beta\text{-PbO}_2$.

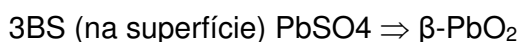
Inicialmente é formado o $\alpha\text{-PbO}_2$ e depois o $\beta\text{-PbO}_2$. Isto ocorre porque a reação ocorre primeiro no interior (pH alcalino) e depois na parte exterior do precursor, em contato com a solução de formação (pH ácido). Por isso o $\alpha\text{-PbO}_2$ forma o esqueleto e o $\beta\text{-PbO}_2$ a parte energética. Isto é interessante porque:

$$Ct(\alpha\text{-PbO}_2) < Ct(\beta\text{-PbO}_2)$$

E é compatível com o fato experimental de que:

- o $\alpha\text{-PbO}_2$ se forma em meio alcalino;
- o $\beta\text{-PbO}_2$ se forma em meio ácido

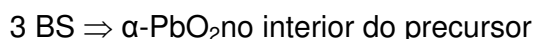
Assim é proposto que :



Ao mesmo tempo outros fatos importantes são identificados:

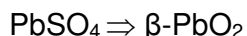
- Placas empastadas com alta densidade, utilizando pastas com baixo conteúdo de ácido e formadas em baixa concentração de eletrólito fornecem fundamentalmente α -PbO₂
- Placas empastadas com baixa densidade, utilizando pastas feitas com elevado conteúdo de ácido e formadas em soluções de alta concentração de ácido fornecem fundamentalmente β -PbO₂
- Estes dados mostram que os fatores determinantes são a densidade do precursor e a concentração de H₂SO₄.
- Portanto, o pH do meio onde acontece a reação de formação do PbO₂ é determinante.
- A situação começou a ficar esclarecida quando ficou evidente a existência de dois estágios durante a formação:

Durante o primeiro estágio:



Durante esta etapa, devido à presença de PbO e dos sulfatos básicos (3BS), o pH >7. Este valor está perto do pH do PbO (pH = 9) e o 3BS na fresta entre o precursor e o PbO₂.

Durante o segundo estágio (após as primeiras horas de formação) a superfície do material.



E [13]

Durante esta etapa, devido a que estamos em contato com a solução ácida o pH <7. Em paralelo, há que lembrar que o PbO₂ apresenta duas morfologias diferentes (além de duas fases diferentes), forma de agulhas e forma de pequenos poliedros. É verificada a existência de β -PbO₂ com forma de agulhas. Como o processo de transformação de 3BS a PbO₂ e do PbSO₄ (do 3BS), a PbO₂ é por dissolução/precipitação, na fresta entre o precursor e o PbO₂.

Sobre a influência da concentração de H₂SO₄ na solução de formação lembramos que o ácido é um produto da reação de formação.

Baixa concentração de ácido

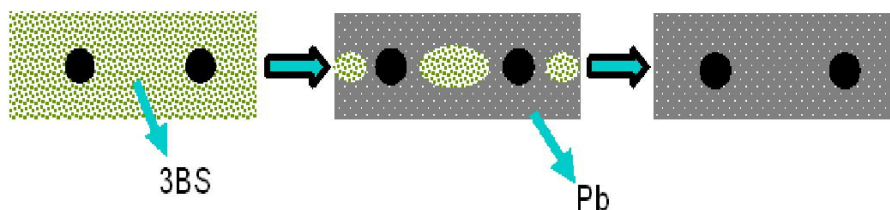


Figura 23 – comportamento da reação na placa com baixa concentração de ácido. Fonte: IX ENBAT.

Primeiro passa pela superfície, pois esse é o caminho de menor resistência (menor concentração de ácido) e depois pelo interior. Fenômeno visualizado na figura 23.

2. Alta concentração de ácido

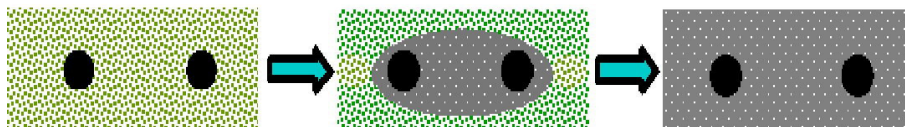


Figura 24 – comportamento da reação na placa com alta concentração de ácido. Fonte: IX ENBAT.

A reação passa primeiro pelo interior da placa. O motivo é que a alta concentração de ácido diminui a atividade de H_2O , necessária para a reação, e a reação escolhe neste caso o caminho mais resistivo, de menor concentração de ácido e maior atividade de H_2O .

Observa-se experimentalmente que, em uma massa sem H_2SO_4 (só $PbO+Pb$), a reação avança primeiro através da superfície devido à menor resistência ôhmica. Na massa com alto conteúdo de H_2SO_4 a reação avança primeiro através da fase volume do material precursor devido à maior quantidade de H_2O nessa região. Fenômeno visualizado na figura 24.

Paralelamente, ficou estabelecido que o conteúdo de H_2SO_4 na pasta inicial influencia a capacidade e o número de ciclos. De acordo com a figura 25.

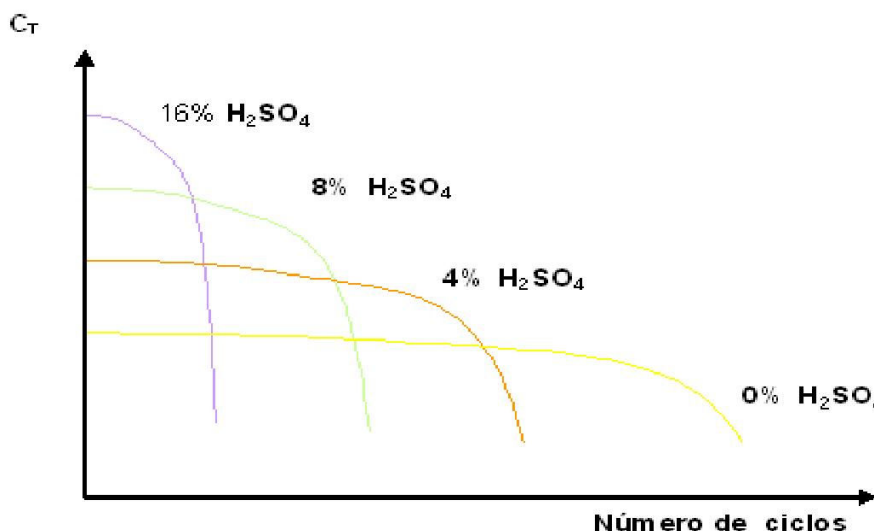


Figura 25 – comportamento de números de ciclos em relação a concentração de ácido. Fonte: IX ENBAT.

Número de ciclos significa tipo de estrutura. Menos sulfúrico na massa, menos sulfatação, maior quantidade estrutural e menor capacidade energética significa muitos ciclos de pouca capacidade.

Muito sulfúrico na pasta, muita sulfatação, muito material energético, pouco material estrutural, significa poucos ciclos de muita capacidade

Maior sulfatação aumenta a capacidade, mas não devido à formação de PbO_2 de maior capacidade (β - PbO_2), senão devido à formação de maiores quantidades de $PbSO_4$ que dará lugar ao PbO_2 energético (nano porosidade). A parte energética do PbO_2 se origina no $PbSO_4$ proveniente da alta sulfatação que forma o β - PbO_2 na superfície dos poros, apresentando nano rugosidade.

O esqueleto é formado no primeiro estágio da sulfatação com a formação de α - PbO_2 , obtido durante a formação de PbO_2 a $pH > 7,0$. Já no segundo estágio da sulfatação com o $pH < 7$ há transformação do $PbSO_4$ em β - PbO_2 , demonstrando que o processo de sulfatação muda a morfologia do material.

No melhoramento do processo que dará origem ao material ativo das placas estabeleceram-se alguns parâmetros que garantiram uma massa com cerca de 5% de ácido sulfúrico e assim com a reação de sulfatação, ou seja cerca de 12% de sulfato de chumbo na massa negativa e positiva depois de passar pelo processo de cura. Para estabelecer outros parâmetros, todo material antes de seguir para a etapa seguinte é analisado e deve ser liberado pelo analista químico responsável pelo processo.

No setor de empastação ocorrem algumas das fases mais importantes no que diz respeito ao melhoramento do rendimento elétrico das baterias. Neste relatório não foram especificados outros fatores relacionados a essa fase do processo.

2.5.2.1.6 Processo de cura

Os painéis depois de empastados são encaminhados para o processo de cura, onde ocorre a sulfatação das placas. O processo de cura ocorre em uma estufa com controle de temperatura e umidade (figura 26).



Figura 26 – estufa de cura das placas. Fonte: autor.

Logo após as placas serem empastadas, elas passam pelo processo de sulfatação. Essa reação é isotérmica, ocorre na estufa, onde passa pelo processo chamado soaking (embebimento). Para isso acontecer é importante manter a estufa com alta umidade durante algumas horas. O calor da reação faz com que a estufa se mantenha aquecida, otimizando o processo de sulfatação. Em seguida a estufa é mantida a uma temperatura média de sessenta graus centígrados. Após o término do processo o material é encaminhado ao setor de formação. Antes do material ser levado ao setor de formação, amostras são encaminhadas ao laboratório, depois de analisadas devem ser liberadas de acordo com os resultados (tabela 14).

Tabela 14 - especificação das placa na saída da estufa de cura.

Especificações (maximo)	Placa negativa	Placa positiva
Pb ⁰	6%	6%
Umidade	4%	2%
PbSO ₄	12%	12%
PbO	80%	80%

Fonte : autor.

2.5.2.1.7 Processo de formação

Após o material ser liberado pelo processo de cura ele é encaminhado ao processo de formação. O processo de formação consiste em formar as placas nos painéis, ou seja, carregar eletricamente transformando as placas negativas em chumbo esponjoso e placas positivas em peróxido de chumbo. A figura 27 mostra os painéis antes e depois da formação.

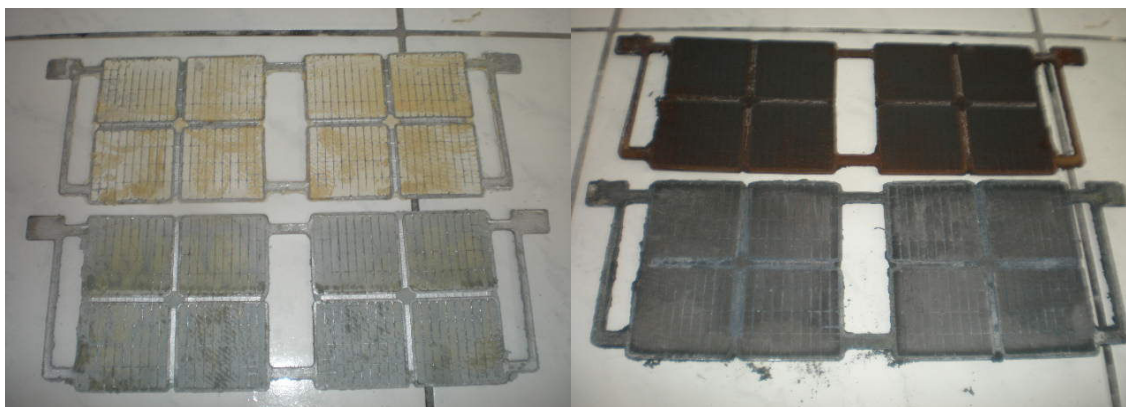


Figura 27 – o painel antes e depois da formação em cima positiva em baixo negativo. Fonte: autor.

O processo de formação é de papel fundamental na produção do acumulador, pois é nele que a energia elétrica é acumulada em energia eletroquímica para depois ser disponibilizada ao mecanismo elétrico das motocicletas.

Os painéis são disponibilizados e montados em cubas, na qual são interligados em série e imersos em solução de ácido sulfúrico. O formador também chamado de carregador consiste em um transformador ou transmissor de energia elétrica alternada para energia continua através da passagem da energia por diodos.

Como já descrito na produção da massa, a solução de ácido sulfúrico nesse processo é fundamental na formação e equilíbrio de $\alpha\text{-PbO}_2$ e de $\beta\text{-PbO}_2$. Outro ponto essencial é disponibilizar corrente elétrica constante no processo de formação, obedecendo aos vários estágios adotados. Para o melhoramento elétrico do material adotou-se uma estratégia de trabalhar as primeiras doze horas a uma corrente constante de sessenta amperes, e nas dezoito horas seguintes com uma corrente de formação de oitenta amperes e que se estabilize em uma tensão limite por cuba de 2.8 V. No final do processo, as placas são encaminhadas ao processo de secagem e depois liberadas para a montagem dos acumuladores. São estabelecidas algumas especificações para o processo de fabricação, parâmetros esses disponibilizados na tabela 15 .

Tabela 15 - especificação das placas na saída da formação (carregador).

Especificações	Placa negativa	Placa positiva
Pb ⁰	85%	0%
PbO ₂	0%	90%
PbO	10%	5%
PbSO ₄	4%	4%

Fonte : autor.

Após a secagem dos painéis, processo que consiste em deixar o material abaixo de 0.5 % de umidade, o material é encaminhado ao laboratório e passa por uma análise visual, pois os painéis positivos têm a coloração castanho escuro, aspecto de ferrugem e são menos macios do que os painéis negativos, que apresentam cor cinza claro e maciez. Ao se passar algo que raspe a superfície da placa aparece o aspecto metálico característico do chumbo metálico figura (27).

Para liberar o material ele passa pelo teste de ativação (figura 28), que consiste em colocar um pedaço das placas do painel em um becker com uma solução de 1270g/cm³ de ácido sulfúrico. Com um voltímetro ligado a um eletrodo de cádmio que tem diferença de potencial zero em relação as placas. Ao colocar a placa em contato com a solução ligada ao voltímetro, aciona-se um cronômetro e marca-se o tempo que a placa positiva leva para alcançar uma diferença de potencial de 2,25 V em relação ao eletrodo de cádmio e 0.11 V em relação a placa

negativa. O tempo de ativação máximo para a placa positiva é de 20 segundos e de no máximo 40 segundos para a placa negativa, alcançando uma diferença de potencial por célula de 2.15 V , originando uma bateria bem formada de 12. 9 V.



Figura 28 – teste de ativação. Fonte: autor.

As baterias para motocicletas da Konder Moto, são do tipo seco carregadas, por isso, o teste de ativação garante que a bateria quando ativada pelo consumidor alcançará a tensão final. No entanto, a bateria que ativa rapidamente não significa que vai ter melhor rendimento elétrico e que realmente tem a capacidade nominal apresentada pelo fabricante.

Considera-se o tempo de ativação normal de até 30 minutos, tempo válido para as baterias que permanecem até cerca de seis meses na prateleira.

2.5.2.1.8 Aspectos relacionados à solução de ácido sulfúrico

O ácido sulfúrico e o próprio chumbo são as substâncias mais importantes na produção das baterias. Ele é utilizado em várias fases do processo, desde a formação da massa, formação das placas e do eletrólito. O eletrólito é envasado em recipientes de plástico (figura 29) e disponibilizado ao consumidor.



Figura 29 – embalagens com solução de ácido sulfúrico. Fonte: autor.

A solução ácido sulfúrico e água, quando não controlada se torna uma fonte perigosa de contaminantes. Existem vários estudos que relacionam auto descarga via contaminantes disponibilizado pela solução de ácido sulfúrico aos acumuladores. As tabelas 16, 17 e 18 disponibilizam as quantidades máximas de contaminantes nessas duas substâncias.

A solução de ácido sulfúrico é adquirida em *container* de 1000 litros com densidade de 1800 g/cm^3 , encaminhada ao setor de diluição onde se adiciona água até as várias densidades utilizadas. A água provém de poço artesiano, passa por um filtro e resinas cátion/iônica para reduzir a concentração de minerais dissolvidos. São encaminhadas amostras de soluções concentradas e diluídas de ácido sulfúrico ao laboratório químico da empresa para a realização de alguns ensaios que garantam as especificações prévias.

Tabela 16 - tabela maximo de impurezas de acido sulfúrico.

Acido sulfúrico		
Elementos	H ₂ SO ₄ puro	H ₂ SO ₄ 1,28 g/cm ³
% H ₂ SO ₄	> 93,2 %	36,5 % a 37,5 %
Resíduos sólidos	0,03	0,011
Antimônio – Sb	0,0001	0,0004
Arsênico – As	0,0001	0,0004
Platina – Pt	0,00002	0,00001
Amônia	0,001	0,0004
Ferro -Fe	0,005	0,0019
Cobre – Cu	0,005	0,0019
Níquel – Ni	0,0001	0,00004
Cloretos	0,001	0,0004
Zinco – Zn	0,004	0,0015
Selênio – Se	0,002	0,0007
Nitratos	0,0005	0,0002
Manganês - Mn	0,00002	0,000007

Fonte: X ENBAT (IBMA (USA) (1986)).

Tabela 17 - tabela maximo de impurezas de acido sulfúrico.

Acido sulfúrico			
Impurezas	Denominação	Máximo admissível	
		%	mg/litro
Ferro	Fe	0,0050	92,00
Cobre	Cu	0,00008	1,47
Halogeneto (como cloreto)	Cl ⁻	0,001	18,40
Nitratos	NO ₃ ⁻	0,0005	9,20
Resíduos fixos	-	0,03	552,00
Substâncias orgânicas	-	0,0049	90,00
Arsênio	As	0,0001	1,84
Antimônio	Sb	0,0001	1,84
Manganês	Mn	0,00002	0,37
Zinco	Zn	0,004	73,60
Níquel	Ni	0,0001	1,84
Cobalto	Co	Isento	Isento
Platina	Pt	Isento	Isento
Selênio	Se	0,002	36,80
Amônia	NH ₄ ⁺	0,0027	50,00
Anidrido sulfurico	SO ₂	0,004	73,60

Fonte: X ENBAT (Norma NBR 14204 (2002))

Tabela 18 - tabela maximo de impurezas de água.

Água		
Impurezas	%	mg/litro
Resíduo de evaporação	0,001	10
Substância orgânicas oxidáveis (espresso em KMnO_4)	0,002	20
Halogenetos como cloretos	0,0001	1,0
Nitratos	0,001	10,0
Amônia	0,0005	5,0
Manganês	0,00001	0,10
Ferro – Fe	0,0001	1,0
Cobre - Cu	0,0001	1,0

Fonte: X ENBAT (Norma NBR 14204).

2.5.2.2 Balanceamento dos componentes formadores da bateria.

Nesta fase do trabalho realizou-se o balanceamento dos materiais de um acumulador de chumbo-ácido, constituído de uma série de células interligadas como já descrito ao longo do trabalho. O balanceamento deu ênfase nos principais materiais que formam uma bateria, os quais são:

- Grade positiva, grade negativa formada por uma liga de chumbo metálico;
- Material ativo positivo;
- Material ativo negativo;
- Placa positiva;
- Placa negativa;
- Eletrólito constituído por uma solução de ácido sulfúrico;

Usou-se de duas fontes para realização do balanço, chamado aqui de balanço de massa 1 e balanço de massa 2.

2.5.2.2.1 Balanço de massa₁.

Determinou-se, a princípio, os amperes hora por quilograma (Ah/ Kg) dos materiais que compõem uma bateria chumbo ácido. Através da “teoria de duplo sulfato” e da equação que rege o processo, pode-se obter a capacidade teórica de corrente elétrica por material ativo. Obteve-se através do balanço de massa estequiométrico os seguintes valores de massa para os reagentes da equação:



$$N_{\text{PbO}_2} = \frac{4.46 \text{ g}}{239.19 \text{ g/mol}} = 0.019 \text{ mol.}$$

$$N_{\text{Pb}} = \frac{3.86 \text{ g}}{207.19 \text{ g/mol}} = 0.019 \text{ mol.}$$

$$N_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{3.66 \text{ g}}{2 \times (98.078 \text{ g/mol})} = 0.019 \text{ mol.}$$

Sendo um total de 11,98 g de componente ativo que corresponde a 83.472 Ah / Kg valor teórico [chamada massa teórica do material $M_{\text{teórica}}$, de acordo com o livro de Hans Bode, “Lead-acid Batteries”, (figs 4.2, 4.3 e 4.4, pgs 291, 292 e 293)].

Procedendo com a descarga controlada chega-se na capacidade de massa efetiva do material M_{efetiva} . A capacidade efetiva pode ser calculada experimentalmente através da determinação da capacidade nominal C_{10} . A massa positiva e negativa das placas tem uma diferença de utilização dependendo assim de um determinado coeficiente α . No balanço se leva em consideração principalmente a placa positiva que é a placa que limita o processo. A placa negativa normalmente tem um pouco de excesso.

A concentração de ácido sulfúrico deve estar dentro de um limite de concentração para haver a descarga e recarga. À temperatura normal, é recomendado trabalhar com a densidade de $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$ de ácido sulfúrico como limite máximo e como limite mínimo, $1,06 \text{ g.cm}^{-3}$. De acordo com Hans Bode, no seu

livro “Lead-acid Batteries”, (na tabela 2.16, pg 43) o ácido sulfúrico corresponde a uma capacidade de 12,3 g/Ah.

O coeficiente para massa positiva deve ser de $\alpha = 55\%$ e o coeficiente para massa negativa de $\alpha = 60\%$ mas, a massa negativa deve ser sobre dimensionada em 30 %, ficando para uma bateria de partida os valores de:

- 8,1g PbO₂;
- 8,4 g Pb;
- 12,3 g de solução de ácido sulfúrico a 1,280 g/cm³

Assim o total de 28,8 g de material ativo por Ah, corresponde a aproximadamente 35 Ah/ Kg. Com isso a obtenção de um K, que corresponde a uma constante de eficiência eletroquímica, pode ser calculada de acordo com a relação:

$$K = \frac{M_{efetiva}}{M_{teorica}}$$

$$K = \frac{35}{83.5} = 0,42$$

2.5.2.2.2 Balanço de massa₂.

Podemos adotar um balanço mais simples usando as “Equivalências de Faraday” encontradas em anexo no livro de Hans Bode, “Lead-acid Batteries” (pg 365).

Seguindo uma outra orientação de balanço, através da equação que rege o processo, tem-se na tabela 19 os valores do balanço.



Tabela 19 - capacidade g/Ah por material.

Material constituinte	Material ativo para placa negativa (Pb)	Material ativo para placa positiva (PbO ₂)	Eletrólito (solução de ácido sulfúrico)
Gramas de material por amperes hora. (g/Ah)	3,87	4,46	3,66

Fonte: Equivalências de Faraday Hans Bode, “Lead-acid Batteries”

Considera-se um rendimento de 40% para a massa negativa em função da atual tecnologia de produção, de 55% para a massa positiva e de 100% para o eletrólito.

2.5.2.2.3 Execução do balanço.

De acordo com esses dados faz-se o balanço da bateria KTX5L-B, identificada como K₂, por se tratar da bateria sugerida depois das melhorias no processo. Fundamentalmente essa bateria precisa apresentar a capacidade nominal de 4 Ah com uma tensão de 12 V.

Sabe-se que para efeito construtivo e de montagem dos elementos no monobloco, esta bateria deve ser projetada de acordo com o suporte onde é instalada a bateria. O tamanho da bateria tem que ficar com 10,50 cm de altura, 11,10 de comprimento e 68 cm de largura. Deve-se considerar as espessuras do monobloco, da tampa e de outros detalhes construtivos da bateria.

Considerando-se 6 células de 2,13 V, cada célula tem um determinado comprimento de 1,85 cm desconsiderando as espessuras das divisões das células. Levando-se em conta separadores de polietileno, conexões e o eletrólito (solução de ácido sulfúrico) encontra-se um valor de comprimento (espessura do conjunto de placas) de no máximo 1,12 cm. Através de dados experimentais sabe-se que as densidades da placas são:

- Placa negativa = 4,5 a 5,0 g/cm³
- Placa positiva = 6,5 a 7,0 g/cm³

Na reação eletroquímica o rendimento da placa negativa é menor. Normalmente se projeta com excesso a placa negativa e se aumenta a espessura da placa positiva para aproveitar os dois lados da placa positiva, intercalando uma placa negativa e outra positiva, começando com a placa negativa e terminando a célula com a placa positiva. Por isso, sempre há uma placa negativa a mais por

célula. No presente trabalho, por motivos econômicos, o painel para placa negativa é o mesmo para positiva.

As tabelas 20 e 21 apresentam os dados do balanço.

Tabela 20 balanço de massa₁.

Materiais	Balanço de massa ₁ .				
	Massa por célula (g)	Numero de placa por célula	Massa por placa(g).	Peso da placa considerando 50% do peso em massa(g).	Volume da placa (cm ³)
Material ativo negativo	32,25	4	8,1	16,2	3,60
Material ativo positivo	33,41	3	11,13	22,27	3,42
Acido sulfúrico (g)	24,35	x	X	x	x

Fonte: autor

Tabela 21 balanço de massa₂

Materiais	Balanço de massa ₂ .				
	Massa por célula (g)	Numero de placa por célula	Massa por placa(g).	Peso da placa considerando 50% do peso em massa(g).	Volume da placa (cm ³)
Material ativo negativo	38,7	4	9,67	19,34	4,29
Material ativo positivo	35,68	3	11,89	23,78	3,66
Acido sulfúrico (g)	14,68	x	x	x	x

Fonte: autor

Optou-se, nesse trabalho, em seguir o balanço de massa 2. Com os dados da tabela acima, simulou-se várias medidas da nossa futura grade considerando seu volume e projetou-se um painel com 8 grades, com as seguintes medidas (apresentadas na figura 30):

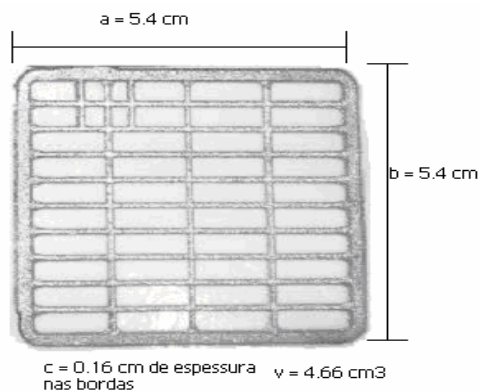


Figura 30 – grade com suas medidas. Fonte: autor.

A grade positiva e a negativa fazem parte do mesmo painel (conjunto de grade) conforme figura 31. É estabelecido experimentalmente por alguns autores, que a grade deva ter 40% de peso em massa em relação ao material ativo, para manter uma maior densidade de material ativo, que acumula a energia. A grade precisa de espessura e material suficiente que garanta ao longo da vida útil da bateria uma resistência mecânica e uma resistência à corrosão.

Nas baterias que serão testadas, intituladas de K_1 e K_2 , os painéis foram redimensionados para aumentar a densidade de material ativo por placa, além de passar de um painel de 6 placas para 8 placas. Na figura 31, na parte superior, o painel produzido para a bateria K_1 e, na parte inferior, o painel que dará origem a bateria K_2 .

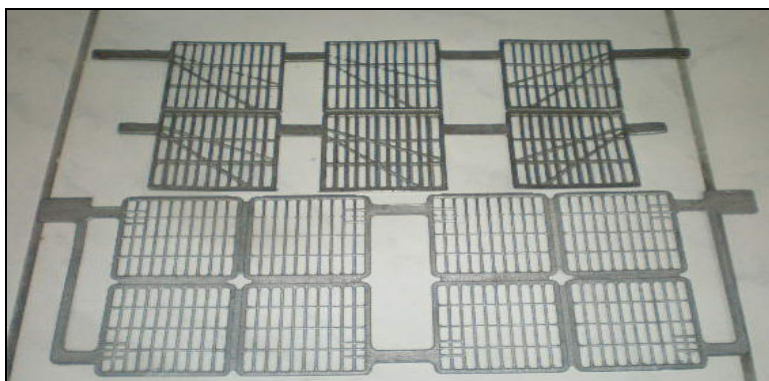


Figura 31– os painéis para bateria K_1 e K_2 . fonte : autor.

A tabela 22 contém os dados relativos dos painéis antes e depois de empastados, apresentando a relação entre o que foi projetado e os valores reais.

Tabela 22 – relação entre os painéis.

Materiais	Painel bateria k1	Painel bateria k2	Painel projetado
Peso do painel (g)	114	144	x
Peso do painel empastado positivo (g)	172	258	x
Peso do painel empastado negativo (g)	173	232	x
Material ativo positivo por painel (g)	58	114	121
Material ativo negativo por painel (g)	59	88	83
Material ativo positivo por placa (g)	9,66	14,25	15,12
Material ativo negativo por placa (g)	9,83	11,00	10,37
Peso de grade (g)	16,17	13,66	12,74
Peso da placa positiva(g)	25,83	27,91	30,24
Peso da placa negativa(g)	26	24,66	20,74
Percentual de massa positiva/ grade (%)	37,40	51,05	50
Percentual de massa negativa / grade (%)	37,80	44,60	50
Dimensões médias por placa (cm)	5,7 x 5,7 x 0,14	5,4 x 5,4 x 0,16	5,4 x 5,4 x 0,16
Volume da grade negativa (cm ³)	4,54	4,66	4,66
Volume da grade positiva (cm ³)	4,54	4,66	4,66
Densidade placa positiva (g/cm ³)	2,12	3,05	3,65
Densidade placa negativa (g/cm ³)	2,14	2,36	4,50

Fonte: autor.

De acordo com esses dados apresenta-se o balanço para a bateria KTX5L-B chamada ao longo do trabalho de K₂, por se tratar de uma bateria sugerida depois das melhorias no processo, e para as demais baterias analisadas.

Tabela 23 – relação entre as baterias analisadas.

Material	K1	K2	Y3	C4	C5	C6
Grade positiva (g)	16,17	13,66	15,03	13,97	16,93	12,60
Grade negativa (g)	16,17	13,66	12,41	13,11	16,93	11,74
Placa positiva (g)	25,82	27,88	32,82	28,46	29,31	30,83
Placa negativa (g)	25,91	24,68	27,33	24,99	28,18	26,30
Material positivo (PbO ₂) (g)	9,65	14,22	17,79	14,49	12,38	18,23
Material negativo (Pb) (g)	9,74	11,02	14,92	11,88	11,25	14,56
Percentual de massa positiva em relação a grade (%)	37,37	51,00	54,20	50,91	42,23	59,13
Percentual de massa negativa em relação a grade (%)	37,59	44,65	54,59	47,53	39,92	55,36
Dimensões da grade negativa (a x b x c) (cm)	5,70 x 1,70 x 0,14	5,40 x 5,40 x 0,16	5,70 x 6,00 x 0,14	5,70 x 5,60 x0,15	5,95 x 5,54 x0,15	5,70 x 6,00 x 0,14
Dimensões da placa grade (a x b x c) (cm)	5,70 x 1,70 x 0,14	5,40 x 5,40 x 0,16	5,70 x 6,00 x 0,17	5,70 x 5,60 x0,15	5,95 x 5,54 x0,15	5,70 x 6,00 x 0,18
Volume da grade negativa (cm ³)	4,54	4,66	4,78	4,78	4,94	478
Volume da grade positiva (cm ³)	4,54	4,66	5,81	4,78	4,94	6,15
Densidade placa negativa (g/cm ³)	2,14	2,36	3,12	2,48	2,27	3,04
Densidade g/cm ³ placa positiva (g/cm ³)	2,12	3,05	3,06	3,03	2,50	2,96
Volume da solução por célula (cm ³)	45	45	40	42	45	x
Densidade da solução de acido sulfúrico (g/cm ³)	1,270	1,270	1,320	1,300	1,270	x
Concentração de acido sulfúrico (%)	36,19	36,19	41,95	39,68	36,19	x
Massa de acido sulfúrico por célula (g)	16,28	16,28	22,16	21,66	16,28	x
Peso da bateria sem ativar (g)	1720	1540	1630	1651	1632	1563
Peso de componentes com chumbo (g)	1570	1390	1480	1501	1482	1413
Peso da bateria ativada (g)	2062	1883	1925	1970	1975	1880
Coeficiente de rendimento 4 Ah / peso da bateria ativada. (projeto)	0,0019	0,0021	0,0021	0,0020	0,0020	0,0021

Fonte : autor

2.5.2.3 Ensaios elétricos.

Nessa etapa do trabalho realizaram-se alguns ensaios elétricos, de acordo com os itens 5.5 e 5.6 da norma NBR 10964, onde está especificado o ensaio elétrico de determinação da capacidade nominal da bateria, o chamado C_{10} e o ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Esses ensaios também são citados na norma NBR 10963 nos itens 5.5.2 e 5.3. bem como a determinação da curva característica de descarga.

2.5.2.3.1 Determinação da capacidade nominal C_{10} .

O ensaio elétrico da determinação da capacidade nominal da bateria está descrito na NBR 10964 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicleta – verificação das características elétricas e mecânicas), no item 5.5. e na NBR 10963 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicletas) no item 5.2.

Este ensaio consiste em, estando a bateria em plena carga, com nível correto e massa específica do eletrólito aferida e com sua respectiva temperatura a $(27 \pm 3) ^\circ\text{C}$, descarregar a mesma a uma corrente constante de $I = 0,10C_{10}$ até a tensão elétrica final de descarga de 10,50 V.

Durante a descarga, os seguintes valores devem ser verificados e anotados em intervalos de tempo de trinta minutos mantendo uma corrente elétrica constante e anotando a tensão elétrica nos pólos da bateria bem como a temperatura do eletrólito. A duração da descarga é medida pelo tempo em horas, a partir do início da descarga, até atingir a tensão elétrica final do ensaio. Foram realizados três ensaios e adotou-se o melhor resultado. A cada final de ensaio a bateria é novamente carregada, com uma amperagem de 2A durante 3 horas e deixando-se descansar durante 8 horas antes de recomeçar o ensaio.

A capacidade nominal da bateria, obtida no ensaio é calculada pela fórmula:

$$C = t (0,10 \times C_{10}).$$

Onde :

C = capacidade nominal da bateria, obtida no ensaio (Ah).

t = tempo, em horas, e frações decimais que a bateria leva desde o início do ensaio até atingir a tensão elétrica de descarga.

Para a realização desse experimento contamos com o auxílio do eletricitista da Konder moto, onde foi montado um circuito que possa descarregar a bateria com a corrente constante ao longo do tempo, como exige o ensaio. O experimento está demonstrado na figura 32.

O sistema é composto de um potenciômetro de capacidade de 100 W e com 100 Ω de resistência, de 1 multímetro conectado em série com o potenciômetro e em paralelo com a bateria e de um voltmímetro ligado aos pólos da bateria para monitorar a tensão. Na bateria foi colocado, em uma das suas células, um termômetro para o monitoramento da temperatura. A tabela 24 mostra os resultados do ensaio.

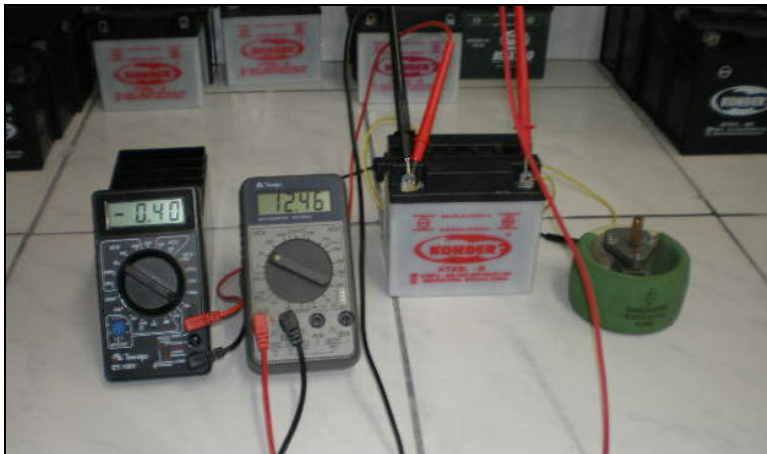


Figura 32- experimento para determinação da capacidade nominal. Fonte : autor

Tabela 24 – dados referentes a determinação da capacidade nominal.

KTX5L-B (K ₁)			KTX5L-B (K ₂)			YTX5L-BS (Y ₃)		
Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)
0	27,50	12,84	0	27,50	12,83	0	27,50	12,82
30	27,50	12,45	30	27,50	12,40	30	27,50	12,49
60	27,50	12,36	60	27,50	12,29	60	27,50	12,41
90	27,50	12,32	90	27,50	12,26	90	27,50	12,39
120	27,50	12,29	120	27,50	12,22	120	27,50	12,34
150	27,50	12,22	150	27,50	12,18	150	27,50	12,23
180	27,50	12,18	180	27,50	12,14	180	27,50	12,18
210	27,50	12,11	210	27,50	12,10	210	27,50	12,08
240	27,80	12,05	240	27,80	12,06	240	27,50	12,04
270	27,80	11,98	270	27,80	11,95	270	27,50	11,98
300	27,80	11,92	300	27,80	11,93	300	27,50	11,90
330	27,80	11,83	330	27,80	11,89	330	27,50	11,84
360	28,00	11,76	360	28,00	11,85	360	27,50	11,77
390	28,00	11,69	390	28,00	11,77	390	27,50	11,70
420	28,00	11,55	420	28,00	11,66	420	27,50	11,61
450	28,00	11,39	450	28,00	11,62	450	27,50	11,55
460	28,00	10,50	480	28,00	11,55	480	27,50	11,46
			510	28,00	11,30	510	27,50	11,37
			540	28,00	11,20	540	27,50	11,28
			570	28,00	10,90	570	27,50	11,12
			580	28,00	10,50	600	27,50	10,85
						615	27,50	10,50

Fonte: autor.

Continuação da tabela 24

TX5L-B (C ₄)			TX5L-B (C ₅)			TX5L-B (C ₆)		
Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Tensão (V)
0	27,50	12,82	0	27,50	12,82	0	27,50	12,83
30	27,50	12,63	30	27,50	12,52	30	27,50	12,70
60	27,50	12,59	60	27,50	12,50	60	27,50	12,59
90	27,50	12,53	90	27,50	12,40	90	27,50	12,53
120	27,50	12,49	120	27,50	12,32	120	27,50	12,49
150	27,50	12,44	150	27,50	12,28	150	27,50	12,43
180	27,50	12,39	180	27,50	12,24	180	27,50	12,36
210	27,50	12,30	210	27,50	12,19	210	27,50	12,28
240	27,50	12,25	240	27,80	12,15	240	27,50	12,18
270	27,50	12,18	270	27,80	12,13	270	27,50	12,11
300	27,50	12,13	300	27,80	12,09	300	27,50	12,06
330	27,50	12,05	330	27,80	12,03	330	27,50	12,01
360	27,50	11,99	360	27,80	11,90	360	27,50	11,91
390	27,50	11,95	390	27,80	11,88	390	27,50	11,32
420	27,50	11,80	420	27,80	11,82	420	27,50	10,63
450	27,50	11,60	450	27,80	11,78	430	27,50	10,50
480	27,50	11,25	465	27,80	11,70			
510	27,50	10,80	480	27,80	10,50			
520	27,50	10,50						

Fonte : autor.

Com os resultados apresentados na tabela 24 calcula-se a capacidade nominal e os dados são apresentados na tabela 25.

Tabela 25 – capacidade nominal das baterias analisadas.

	KTX5L-B (K ₁)	KTX5L-B (K ₂)	YTX5L-B (Y ₃)	5L-B (C ₄)	5L-B (C ₅)	5L-B (C ₆)
Capacidade em Ah.	3,10	3,90	4,10	3,50	3,20	2,90
Coeficiente de rendimento 4 Ah / peso da bateria ativada. (projeto)	0,0019	0,0021	0,0021	0,0020	0,0020	0,0021
Coeficiente de rendimento .. Ah / peso da bateria ativada. (real)	0,0015	0,0021	0,0021	0,0017	0,0016	0,0015

Fonte :autor

Com os dados da tabela 24 plotaram-se gráficos mostrando o comportamento das baterias durante os ensaios.

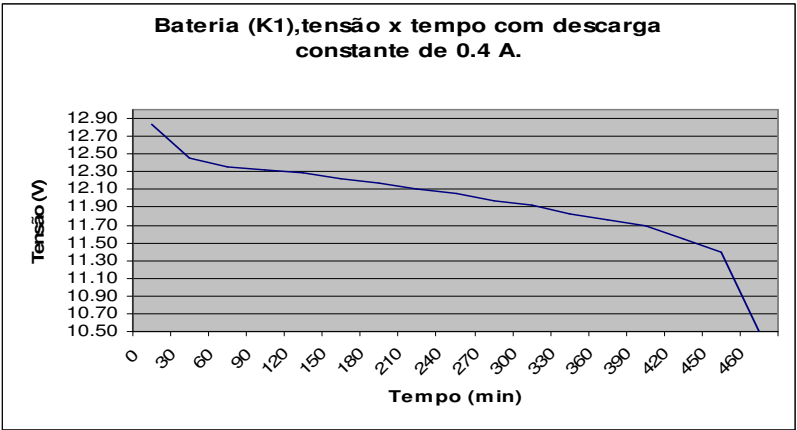


Figura 33- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (K₁). Fonte : autor

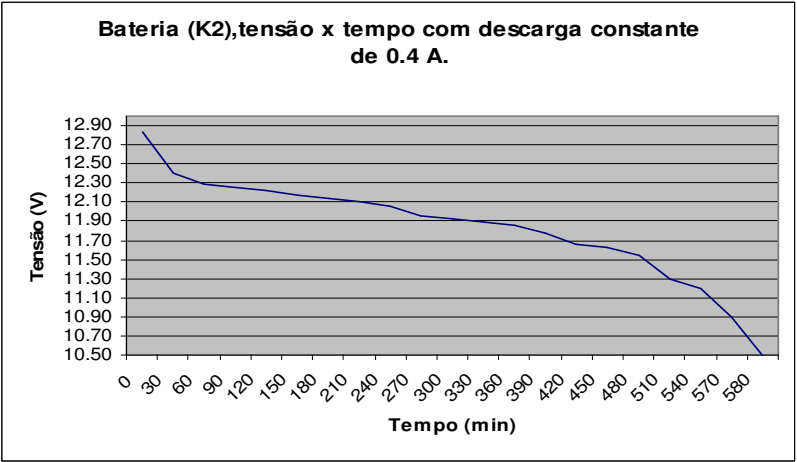


Figura 34- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (K₂). Fonte : autor

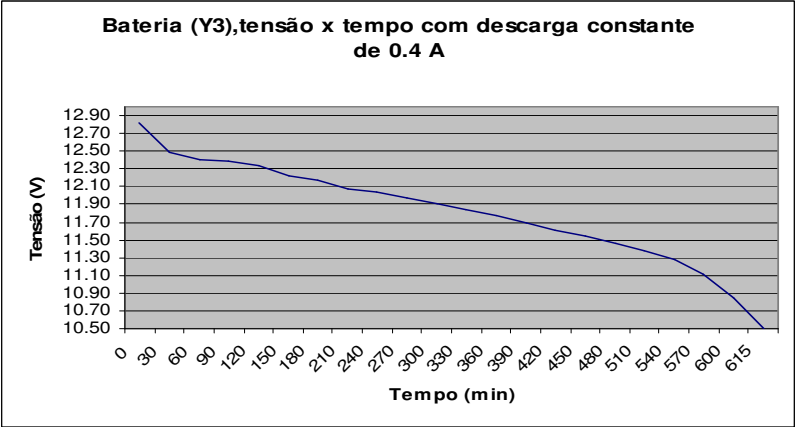


Figura 35- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (Y₃). Fonte : autor

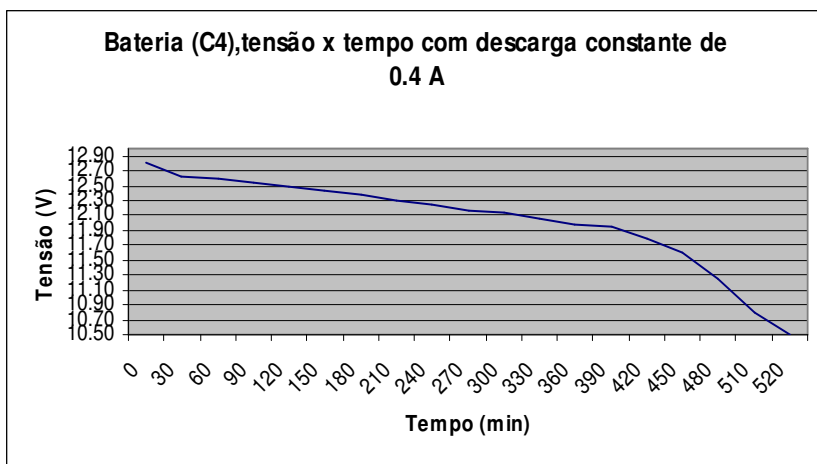


Figura 36- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (C_4). Fonte : autor

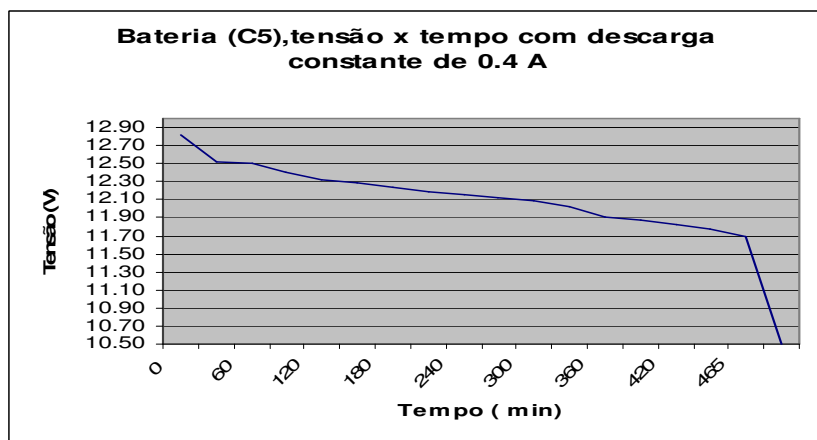


Figura 37- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (C_5). Fonte : autor

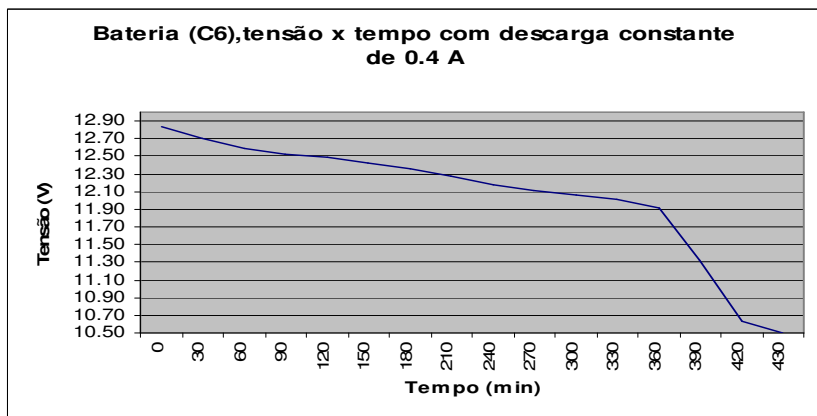


Figura 38- o gráfico obtido pelo ensaio de determinação de capacidade nominal (C_6). Fonte : autor

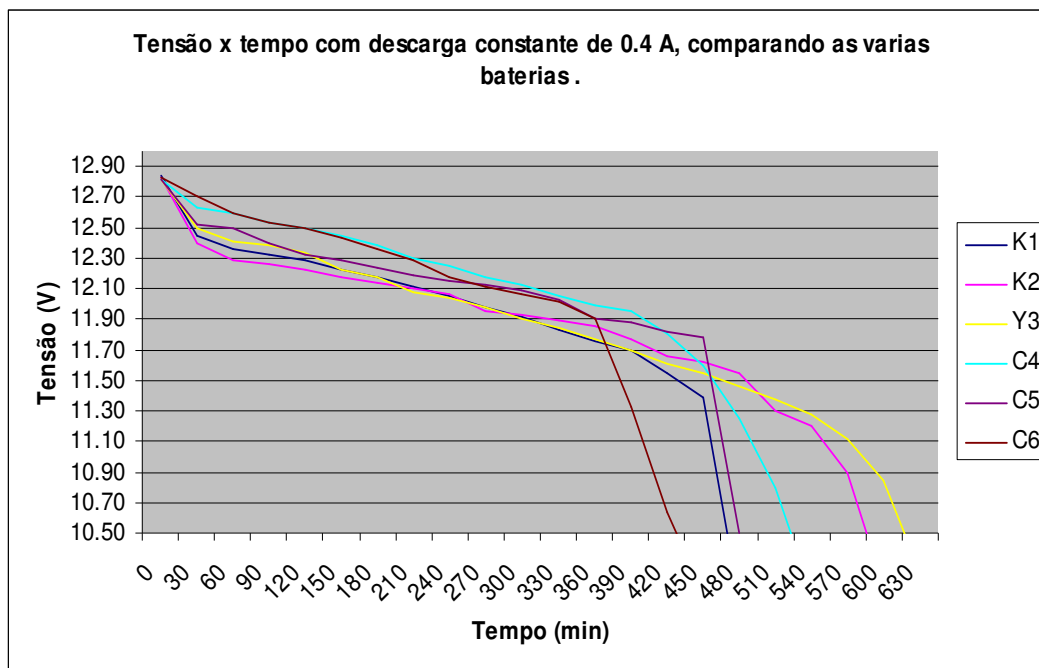


Figura 39- o gráfico obtido pela comparação de todos modelos. Fonte : autor

2.5.2.3.2 Descarga rápida a baixa temperatura

O ensaio elétrico da descarga rápida a baixa temperatura está descrito na NBR 10964 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicleta – verificação das características elétricas e mecânicas), no item 5.6. e na NBR 10963 (bateria chumbo-ácido de partida e iluminação para motocicletas) no item 5.3.

Este ensaio consiste em estando a bateria em plena carga, com nível correto, massa específica do eletrólito aferida e com sua respectiva temperatura a $(-15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ descarregar a mesma a uma corrente constante de valor maior ou igual de $3C_{10}$. Considera-se o fim do ensaio elétrico quando a tensão final for de 6 V.

Durante o ensaio são anotados os valores de tensão, sendo que a primeira anotação deve ser realizada 5 segundos após o início da descarga rápida. A duração do ensaio deve ser medida em segundos.

Para a realização desse experimento contou-se com o auxílio do eletricitista da Konder Moto, que montou um circuito para descarregar a bateria com uma corrente constante ao longo do tempo, como exige o ensaio. O experimento é basicamente o mesmo da determinação da capacidade nominal, porém foi acrescentado uma fonte de 200 W em série como mostra a figura 40.

Os resultados estão apresentados na tabela 25 e foram executados com a temperatura ambiente em torno de 27°C . A corrente de descarga da bateria foi três vezes a da capacidade nominal de acordo com a norma. Adotou-se uma corrente elétrica de descarga de 14 amperes. Em seguida procedeu-se a descarga com a temperatura estabelecida pela norma de $(-15 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, mantendo as baterias em um refrigerador depois de recarregadas ao final do ensaio de capacidade nominal. Como no ensaio de determinação da capacidade nominal também foram realizados três ensaios e aproveitado o melhor resultado.



Figura 40- experimento para determinação da capacidade da descarga com baixa temperatura. Fonte : autor.

Tabela 26 – dados referentes a descarga a 14 A com temperatura de 27 °C.

Tempo (s)	KTX5L-B (K ₁) (V)	KTX5L-B (K ₂) (V)	YTX5L-B (Y ₃) (V)	5L-B (C ₄) (V)	5L-B (C ₅) (V)	5L-B (C ₆) (V)
0	12,8	12,82	12,83	12,81	12,81	12,80
5	11,56	11,5	11,61	11,6	11,55	11,61
15	11,56	11,42	11,7	11,63	11,62	11,65
30	11,55	11,35	11,73	11,66	11,64	11,65
60	11,47	11,26	11,72	11,64	11,63	11,63
90	11,37	11,14	11,71	11,6	11,58	11,57
120	11,26	11,01	11,68	11,54	11,53	11,51
150	11,11	10,86	11,64	11,48	11,47	11,43
180	10,98	10,72	11,59	11,41	11,41	11,28
210	10,8	10,52	11,54	11,33	11,34	10,82
240	10,59	10,29	11,48	11,24	11,26	10,01
270	10,3	9,95	11,41	11,13	11,17	9,67
300	9,75	9,50	11,35	11,00	11,06	9,3
330	8,58	8,80	11,27	10,85	10,95	9,08
360	6,96	7,30	11,19	10,64	10,81	8,76
390	6,00	6,80	11,09	10,33	10,65	8,49
420		6,00	10,97	9,26	10,41	8,4
450			10,81	6,00	9,92	8,4
480			10,55		8,13	8,34
510			9,67		7,53	8,24
540			7,44		6,00	8,2
570			6,00			7,86
600						7,15
630						6,00

Fonte : autor.

Com os dados expostos na tabela 26, plotaram-se os mesmos em gráficos, mostrando o comportamento das baterias.

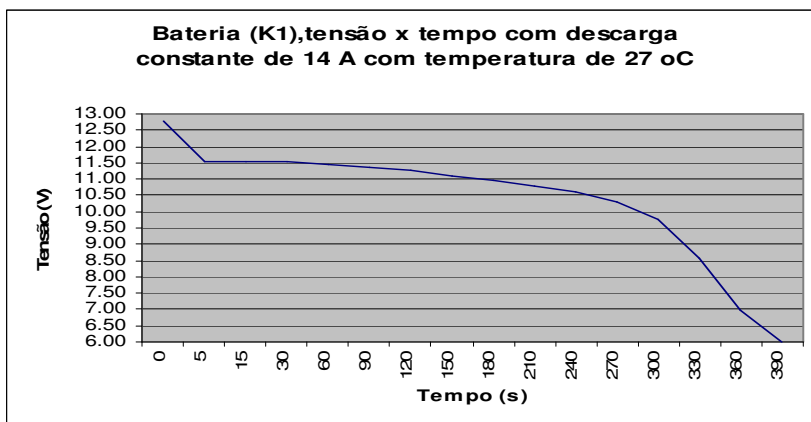


Figura 41- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

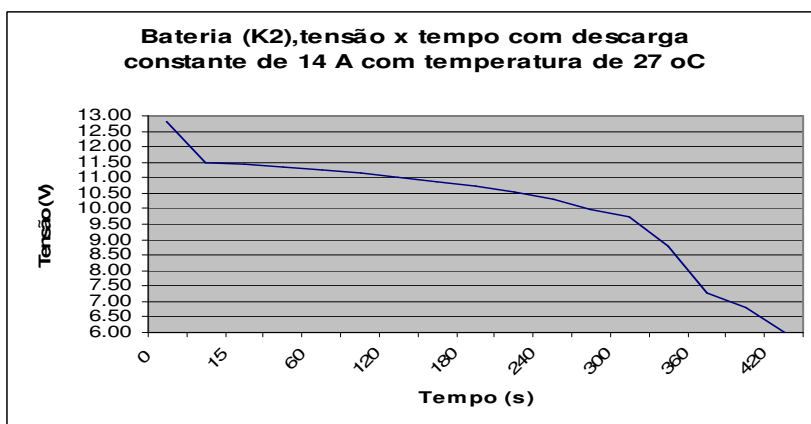


Figura 42- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

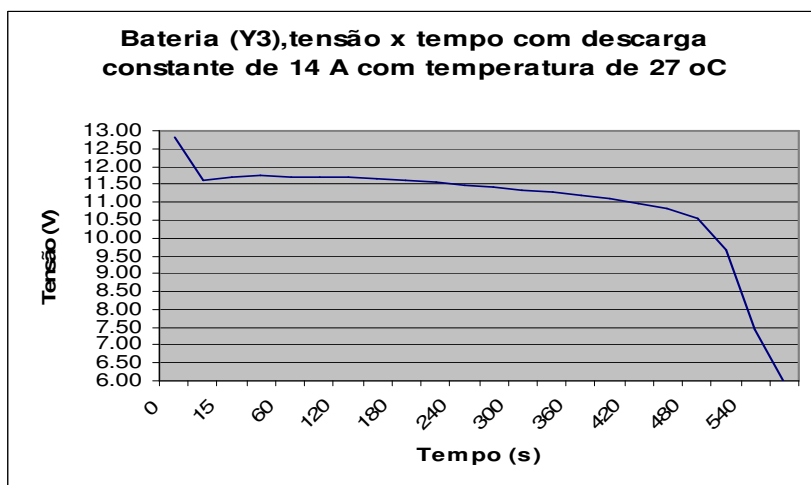


Figura 43- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

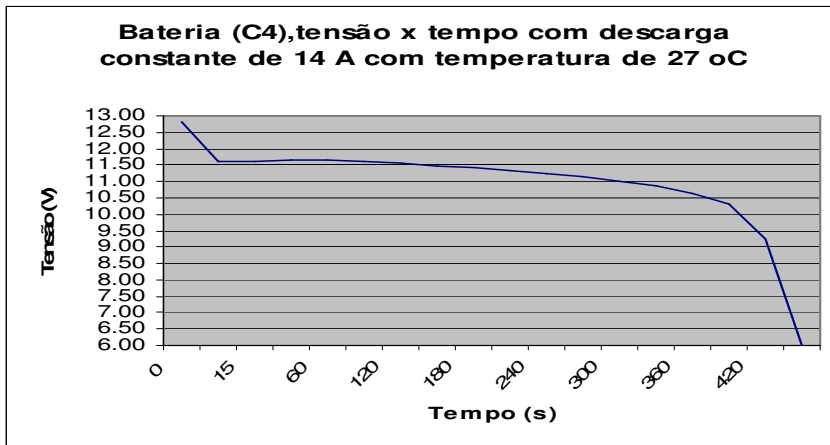


Figura 44- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

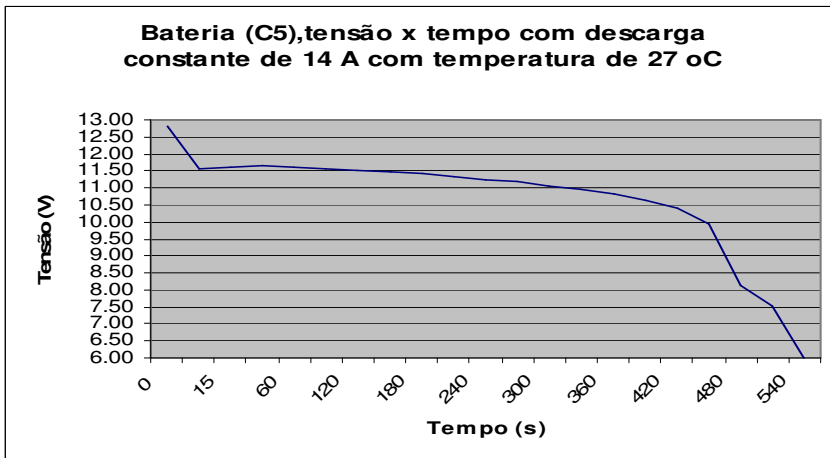


Figura 45- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

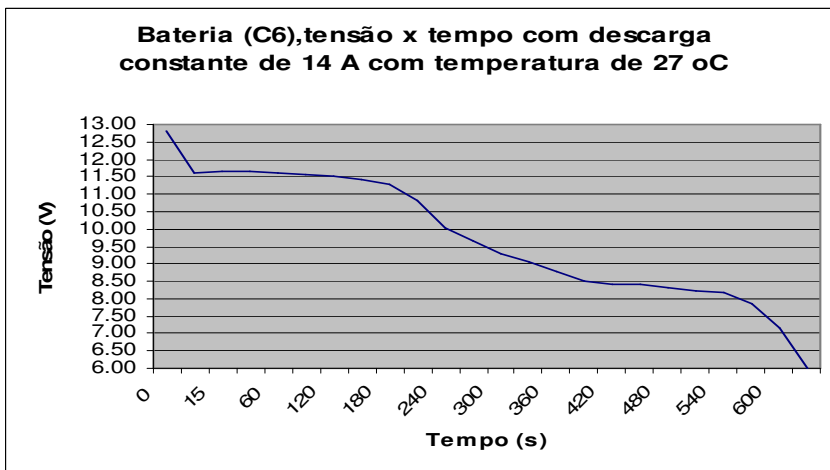


Figura 46- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida. Fonte : autor

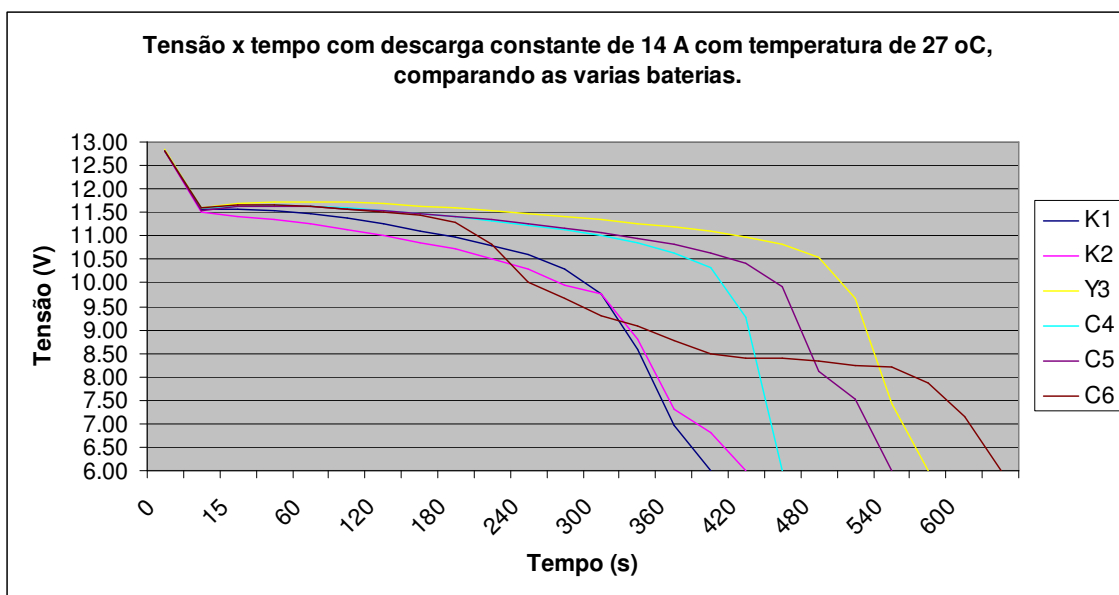


Figura 47- o gráfico obtido pela comparação de todos modelos. Fonte : autor

Tabela 27 – dados referentes a descarga a 14 A com temperatura de -10 °C.

Tempo (s)	KTX5L-B (K ₁) (V)	KTX5L-B (K ₂) (V)	YTX5L-B (Y ₃) (V)	TX5L-B (C ₄) (V)	TX5L-B (C ₅) (V)	TX5L-B (C ₆) (V)
0	12,83	12,81	12,84	12,83	12,82	12,82
5	10,90	10,80	11,17	11,02	10,98	11,07
15	10,78	10,65	11,16	10,95	10,96	11,05
30	10,69	10,54	11,16	10,91	10,95	11,05
60	10,44	10,33	11,13	10,79	10,90	11,02
90	10,19	10,14	11,10	10,66	10,83	10,92
120	9,88	9,96	11,05	10,53	10,74	9,89
150	9,25	9,69	11,00	10,38	10,64	9,21
180	8,53	9,30	10,94	10,23	10,53	9,53
210	7,34	8,85	10,88	9,95	10,35	9,39
240	6,00	7,89	10,81	9,33	10,03	9,10
270		6,84	10,72	7,39	8,87	8,84
300		6,00	10,62	6,00	6,65	8,65
330			10,48		6,00	8,50
360			10,26			8,19
390			9,90			7,88
420			8,40			6,53
450			6,00			6,00

Fonte : autor.

Com os dados expostos na tabela 27, plotaram-se os dados em gráficos mostrando o comportamento das baterias, obtendo-se a curva característica de alta descarga com baixa temperatura.

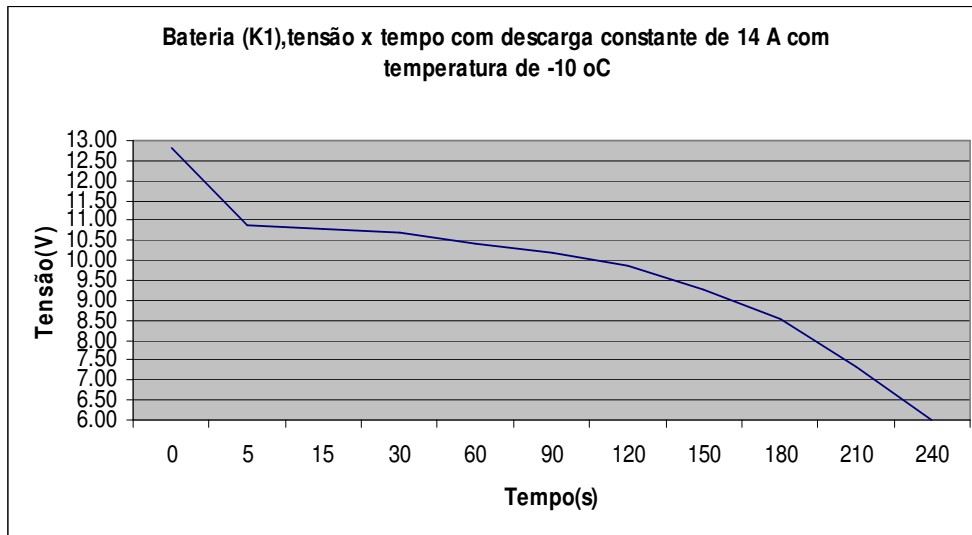


Figura 48- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

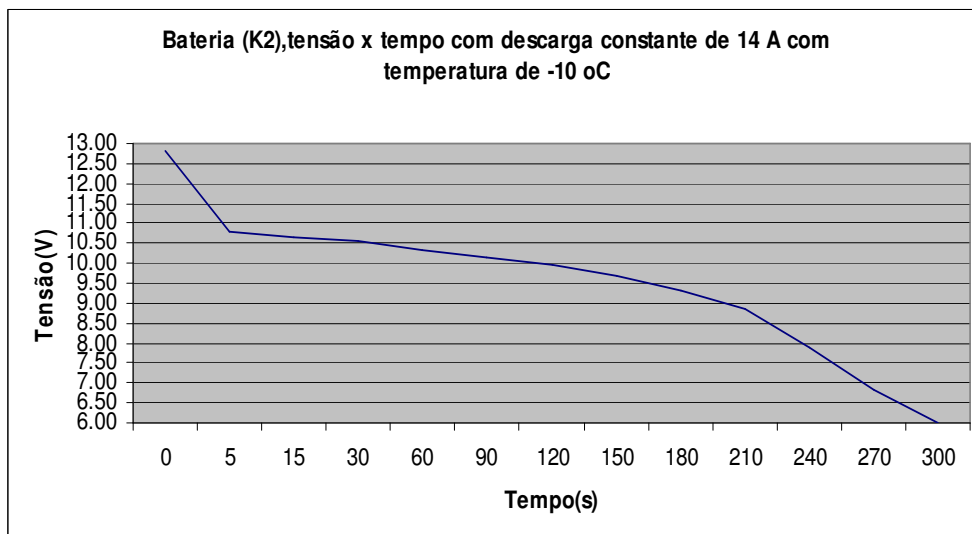


Figura 49- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

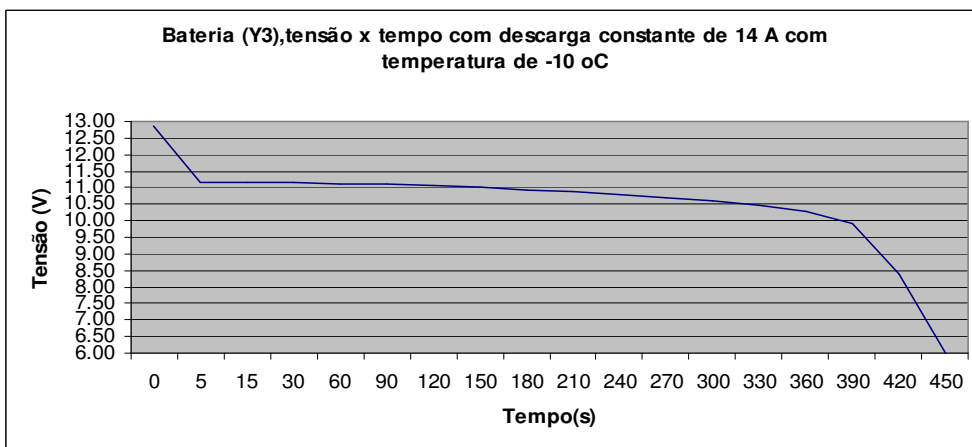


Figura 50- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

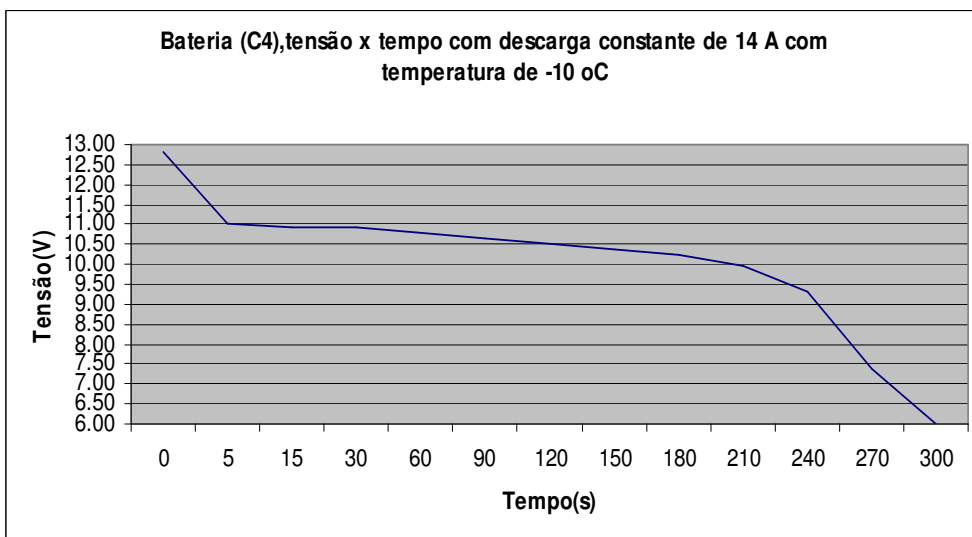


Figura 51- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

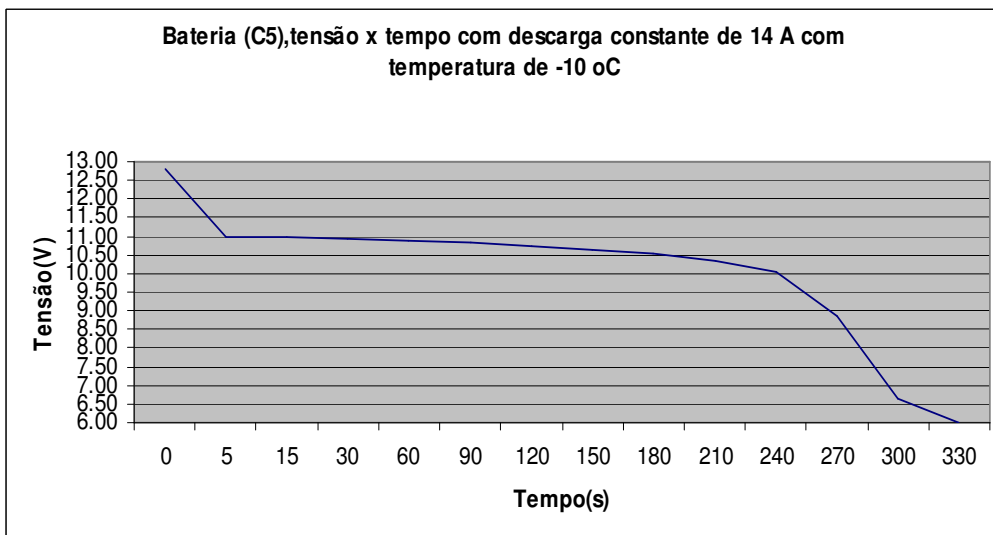


Figura 52- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

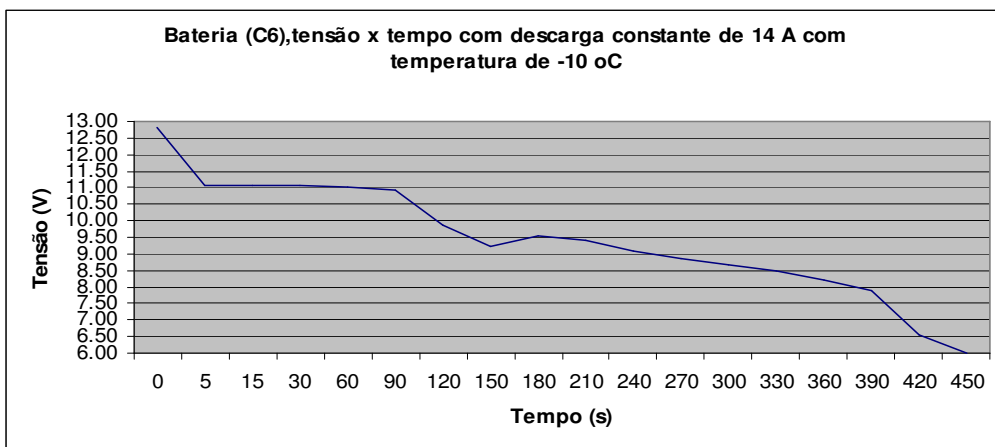


Figura 53- o gráfico obtido pelo ensaio de descarga rápida a baixa temperatura. Fonte : autor

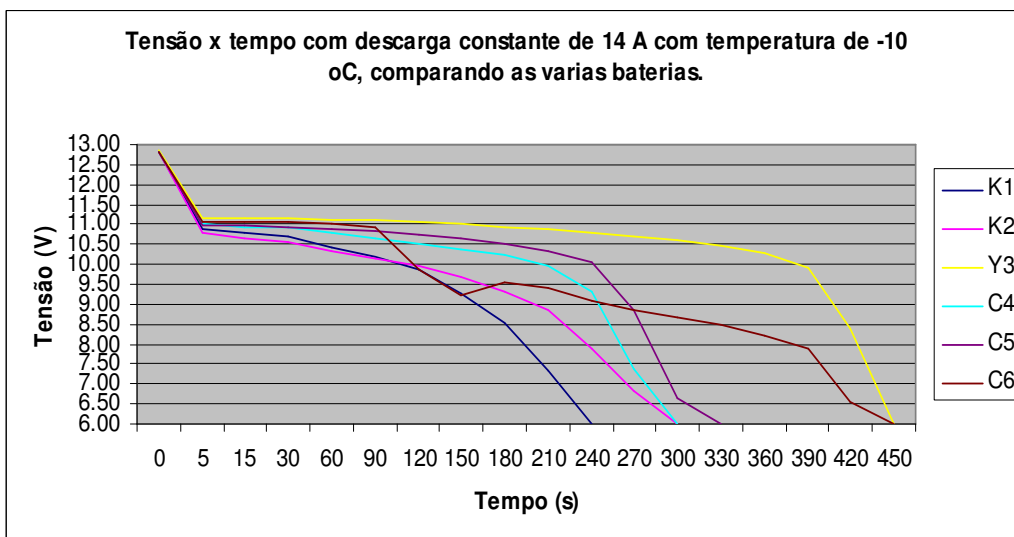


Figura 54- Comparação de todos modelos submetidos a descarga rápida a baixa temperatura . Fonte : autor

As figuras 55 a 60 são referentes a gráficos comparativos da descarga nas duas temperaturas diferentes.

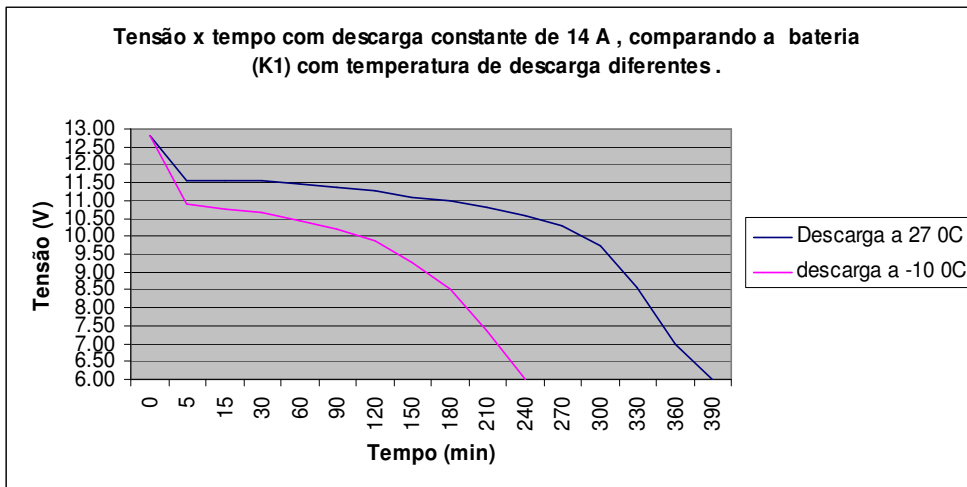


Figura 55- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

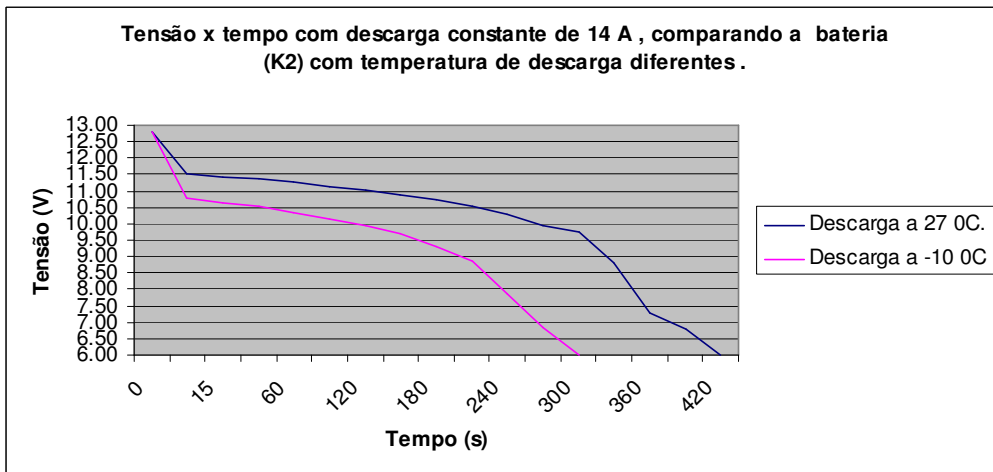


Figura 56- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

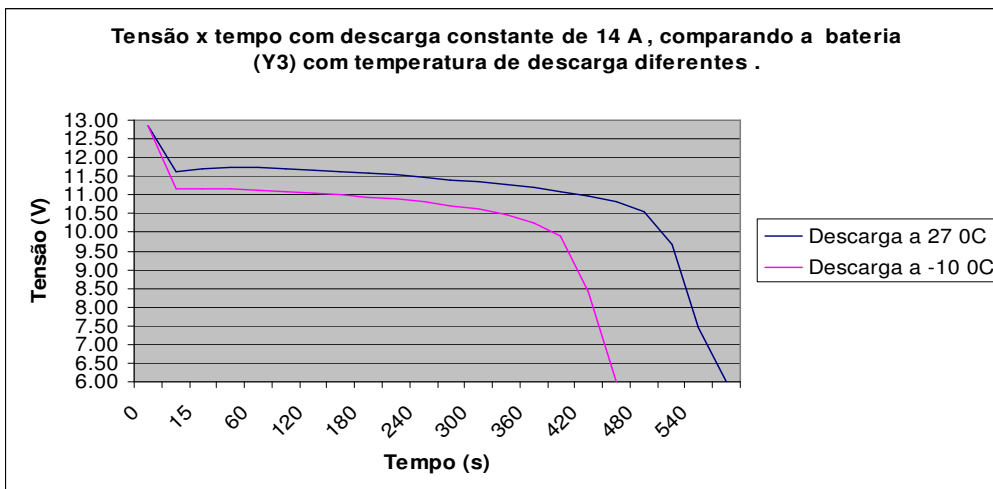


Figura 57- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

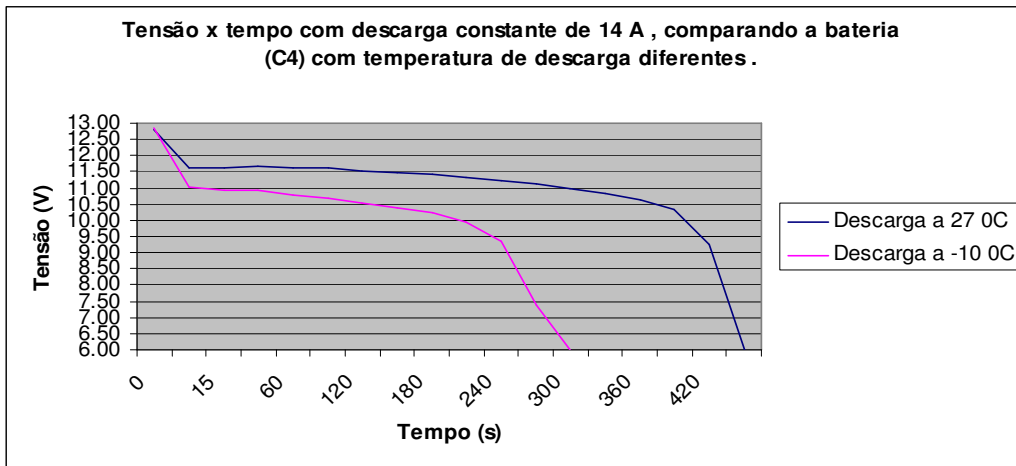


Figura 58- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

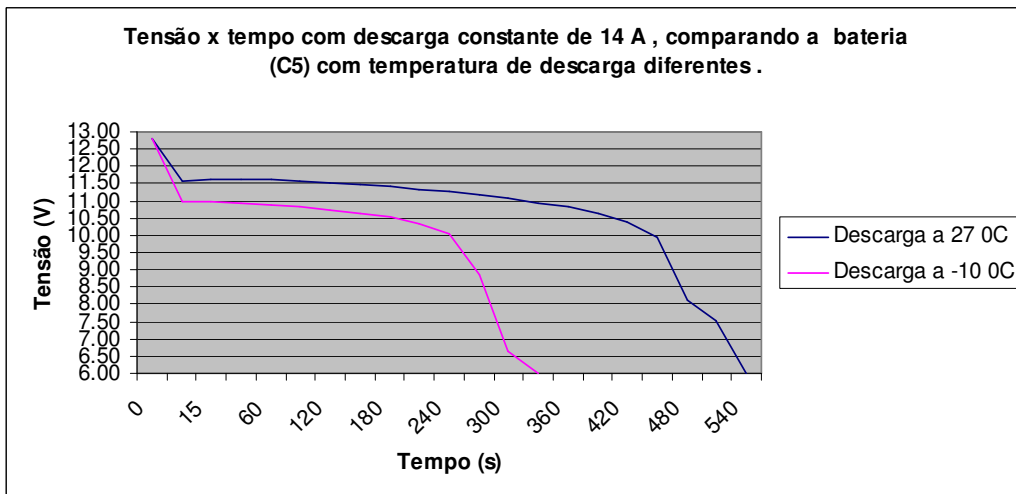


Figura 59- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

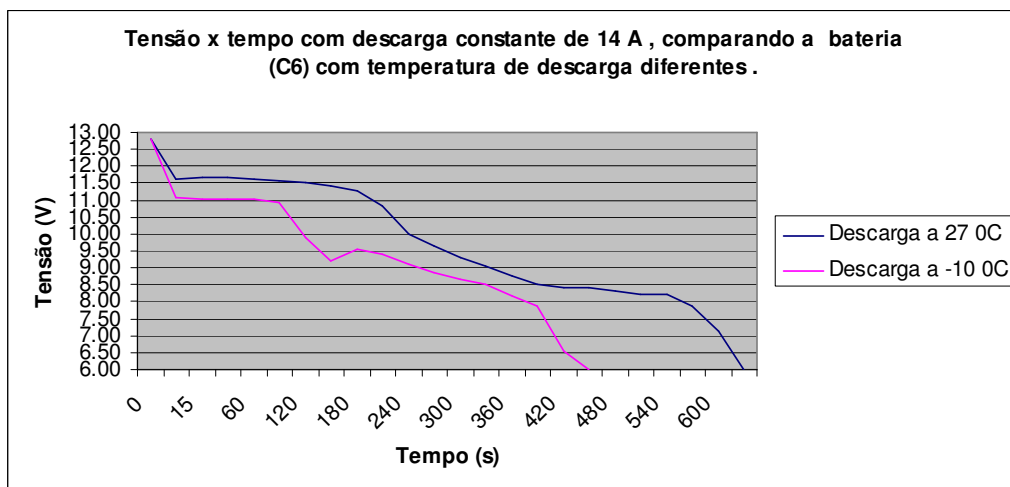


Figura 60- o gráfico comparativo com temperaturas diferentes. Fonte : autor

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

2.6.1 Resultados e Discussões

O presente trabalho baseou-se no estudo prático, fundamentou-se em conhecimento técnico do assunto e verificou a possibilidade de algumas melhorias no processo, com o objetivo de um aumento no rendimento elétrico das baterias. Em algumas das fases do processo simplesmente foi proposto uma modificação da produção. Para validar e avaliar as melhorias executou-se alguns ensaios elétricos em um dos modelos analisados. Para servir de parâmetro no trabalho utilizou-se uma bateria com um padrão de qualidade reconhecido internacionalmente, a bateria YTX5L-BS.

2.6.1.1 Processos envolvendo chumbo refinado

Na primeira parte onde se discutiu o processo de produção destaca-se a tabela 9 onde foram apresentados dados relativos a uma melhora significativa do nível de impurezas de 0.15 % para 0.05 %, chegando-se a números muito próximos aos exigidos pela NBR 6179 no chumbo grau extra. O chumbo puro dá origem ao material ativo que, de melhor qualidade, aumenta a capacidade de armazenamento de energia e seu tempo de prateleira, devido à diminuição da auto-descarga promovida por contaminantes. Pode-se verificar a afirmação pelo índice apresentado na tabela 25. O tempo de prateleira não apresenta valores que possam ser comprovados, mas acredita-se em melhoria.

Tabela 25 – capacidade nominal das baterias analisadas.

	KTX5L-B (K ₁)	KTX5L-B (K ₂)	YTX5L-BS (Y ₃)	5L-B (C ₄)	5L-B (C ₅)	5L-B (C ₆)
Capacidade em Ah.	3,10	3,90	4,10	3,50	3,20	2,90
Coefficiente de rendimento 4 Ah / peso da bateria ativada. (projeto)	0,0019	0,0021	0,0021	0,0020	0,0020	0,0021
Coefficiente de rendimento .. Ah / peso da bateria ativada. (real)	0,0015	0,0021	0,0021	0,0017	0,0016	0,0015

Fonte :autor

É importante salientar que as baterias similares as do modelo citado como parâmetro, não usam chumbo reciclado, como garantia de percentuais de chumbo como as relatadas na tabela 8, nas quais as impurezas não passam de 0.01%. Pela ASTM (U.S.), o valor máximo das impurezas é de 0.06%, mostrando a importância para essa fase.

Nas ligas de chumbo foram observados detalhes importantes, como:

- O monitoramento rígido de temperatura para não ocorrer a perda de metais adicionados à liga na formação de óxidos e por fumos metálicos, quando a bateria permanece por longo tempo em alta temperatura.
- O monitoramento de contaminantes na liga para garantia de um nível baixo.
- A utilização de uma liga com baixo teor de antimônio produzindo uma bateria com baixa manutenção. Os dados percentuais não foram liberados para esse material.

Na produção de óxido de PbO foram adotados alguns parâmetros especificados na tabela 12, procurando-se manter o controle com a captação e a cura do óxido por, no mínimo 24 horas, não passando de 48 horas. Usaram-se três silos de armazenagem do oxido para tal ensaio. Para manter o processo foram feitos ensaios físicos químicos a cada hora e quando os resultados estavam fora do especificado efetuava-se o ajuste do equipamento.

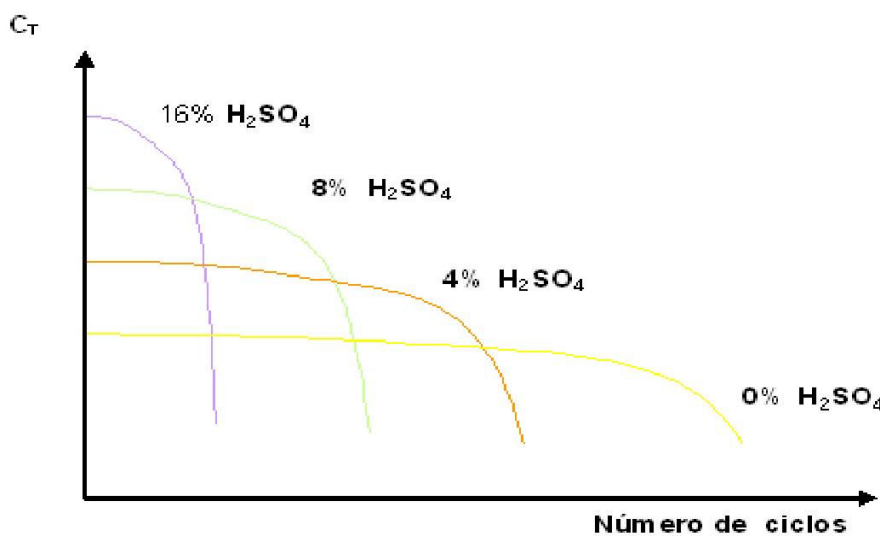
No processo de produção de grades, além do melhoramento do molde que deu origem à nova grade foram executadas outras melhorias do produto. Pode-se salientar a mudança do desmoldante usado no molde onde são fundidas as grades como demonstrado na figura 18. Esse novo desmoldante se mantém por mais tempo no molde, aumentando a qualidade da grade e diminuindo consideravelmente a quantidade de uso do produto.

2.6.1.2 Processos envolvendo produção do material ativo.

Na produção do material ativo houve atenção especial na concentração de ácido sulfúrico, que influencia a capacidade e o número de ciclos. Constatou-se que, menor concentração de ácido sulfúrico na massa resulta em menor sulfatação, maior quantidade estrutural e menor capacidade energética com ciclos de pouca capacidade.

Ao contrário, muita concentração de ácido sulfúrico na massa resulta em muita sulfatação, muito material energético com pouca estrutura, com poucos ciclos com muita capacidade.

No melhoramento desse processo optou-se por trabalhar com uma massa de 5% de concentração de ácido sulfúrico (fig25).



. Figura 25 – comportamento de números de ciclos em relação a concentração de ácido. Fonte: IX ENBAT.

Ao observar os ensaios elétricos, pode-se chegar a algumas conclusões.

A figura 39 mostra que a bateria Y_3 (parâmetro) mostra uma curva decrescente constante. A bateria K_1 mostra certa semelhança no traçado, não mostrando a mesma constante até o final da curva. A bateria K_2 mostra uma grande semelhança na curva mas, as demais, mostram um maior tempo de tensão acima da bateria parâmetro. No entanto, quando perdem a tensão, é de uma forma acentuada deixando claro que se trata de baterias com maior capacidade energética, ou seja com maior concentração de ácido sulfúrico.

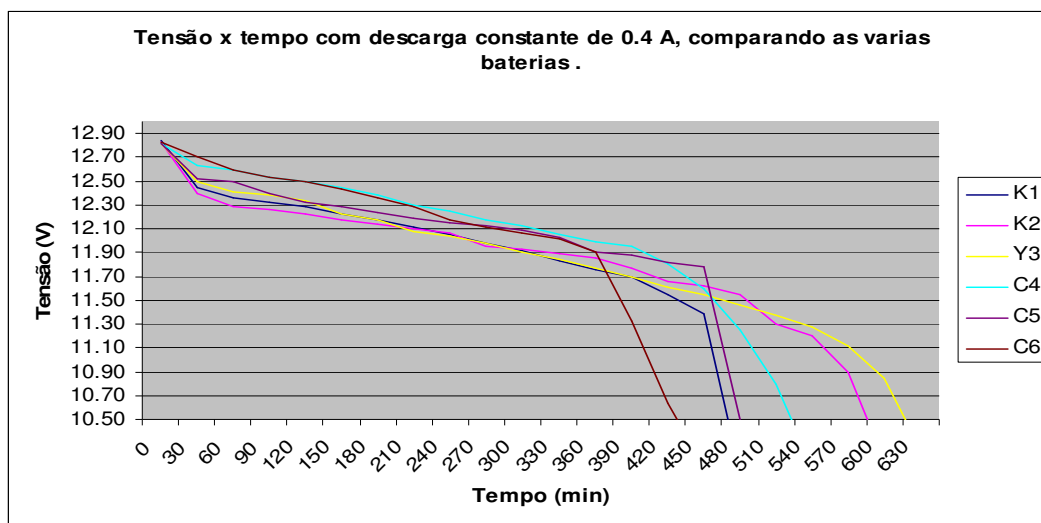


Figura 39- o gráfico obtido pela comparação de todos modelos. Fonte : autor

Ao observar as figuras 47 e 54, quando as baterias são submetidas a altas descargas em temperatura ambiente e temperaturas extremas observa-se que realmente as baterias K_1 e K_2 apresentam pouca capacidade energética em relação as demais. As baterias C_4 e C_5 mostram uma boa capacidade energética.

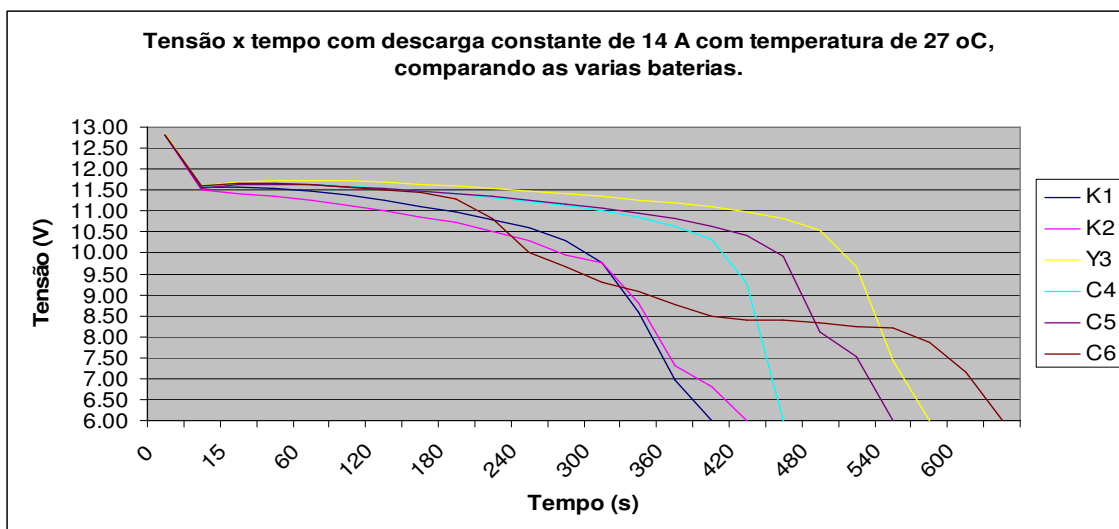


Figura 47- o gráfico obtido pela comparação de todos modelos. Fonte : autor

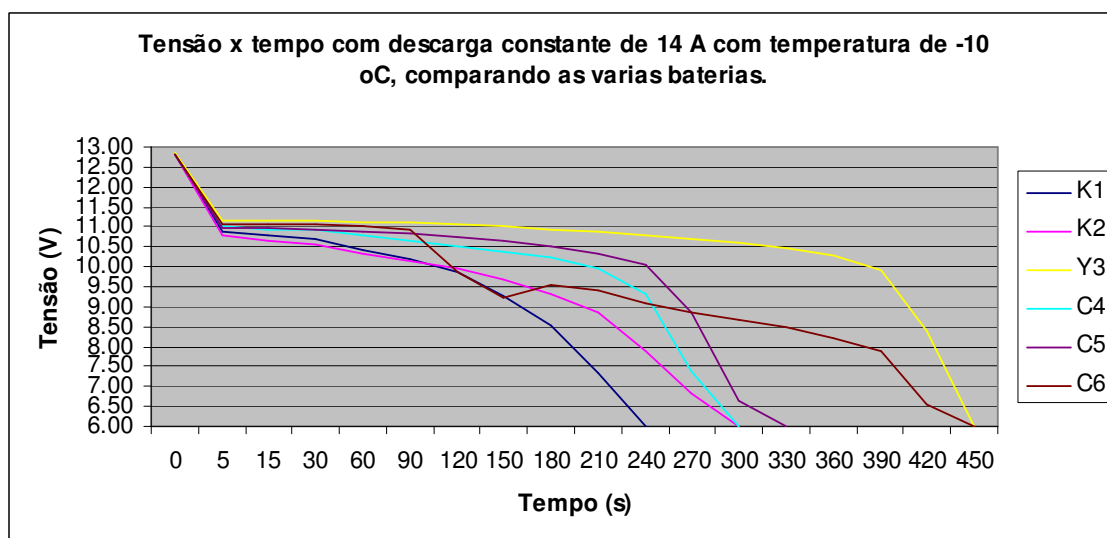


Figura 54- o gráfico obtido pela comparação de todos modelos submetidos a descarga rápida a baixa temperatura . Fonte : autor

As baterias analisadas neste trabalho tinham seu eletrólito na forma líquida, pois tratavam-se de baterias de baixa manutenção. Das seis baterias ensaiadas, somente a Y₃ e C₆ mantinham seu eletrólito absorvido em uma fibra de vidro (AGM - absorbed glass mat) as chamadas baterias seladas. Em todos os doze ensaios coletaram-se amostras de eletrólito para analisar a sua densidade. Onde Na tabela 28 apresentam-se os resultados do primeiro e do último ensaio.

Tabela 28 – dados referentes as densidades das baterias analisadas

Baterias	Numero de ensaio	Solução de acido sulfúrico	
		Densidade inicial (g/cm ³)	Densidade final (g/cm ³).
KTX5L-B (K ₁)	1 ^o	1275	1140
	12 ^o	1280	1150
KTX5L-B (K ₂)	1 ^o	1270	1140
	12 ^o	1275	1155
5L-B (C ₄)	1 ^o	1300	1250
	12 ^o	1400	1300
5L-B (C ₅)	1 ^o	1275	1150
	12 ^o	1320	1200

Fonte: autor

Podemos observar que, à medida que as baterias foram cicladas as baterias C₄ e C₅ aumentaram a densidade da solução evidenciando uma alta concentração de ácido sulfúrico no material ativo.

2.6.1.3 Considerações sobre o balanço de massa.

O principal objetivo do balanço de massa é dimensionar a bateria. O balanço de massa tinha como objetivo projetar uma bateria com 4 Ah, com o mínimo de material possível, considerando o elevado custo da matéria prima principal, o chumbo. No ensaio de capacidade nominal, a bateria apresentou apenas 3,90 Ah. Considerando que seguindo o balanço de massa₂ na tabela 21, mostra que teoricamente conseguiremos o que não aconteceu na pratica.

A tabela 22 evidencia que a densidade calculada no projeto deveria ser de 3,65 g/cm³ da placa positiva e 4,65 g/ cm³ da placa negativa e na prática se observou apenas 3,05 g/ cm³ na placa positiva e 2,36 g/ cm³ na placa negativa, dando uma diferença de 95% a menos de material positivo, que é quem limita a reação.

As melhorias em relação a bateria K₁ são significativas:

- Aumento de 33% de grades por painel;
- Aumento de 47% de material ativo positivo por placa;

- Aumento de 12% de material ativo negativo por placa;
- Diminuição de 16 % do peso da grade;
- Aumento do percentual de massa positiva/grade de 37,40% para 51,04%;
- Aumento do percentual de massa negativa/ grade de 37,80% para 44,60%;
- Diminuição das dimensões e aumento do volume;

A figura 61 mostra da esquerda para direita as placas e as grades na seguinte ordem : K_1, K_2, Y_3 .

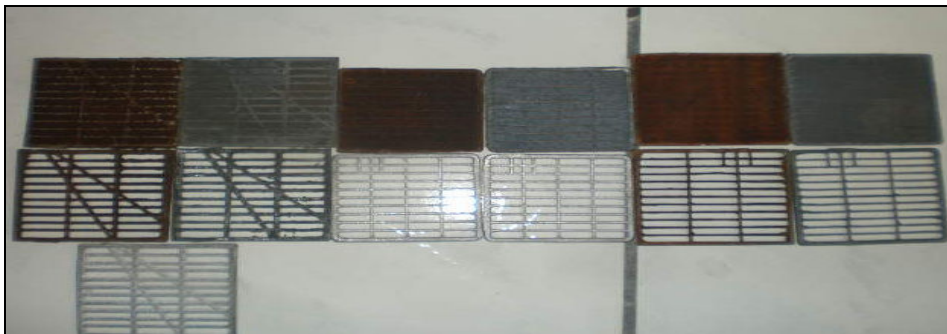


Figura 61- as placas e grades que deram origem as (K_1, K_2, Y_3). Fonte : autor

A figura 61 mostra todas as placas e grades das baterias analisadas, na mesma seqüência adotada no trabalho.

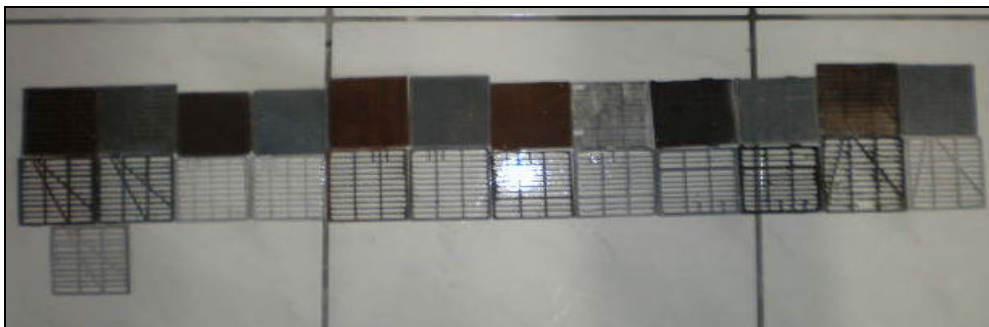


Figura 62- as placas e grades que deram origem as ($K_1, K_2, Y_3, C_4, C_5, C_6$). Fonte : autor

As demais baterias analisadas mostraram uma menor capacidade em relação à bateria desejável. Ao observar a tabela 23, constatamos que mesmo baterias com pesos maiores do que a bateria parâmetro, não apresentam rendimentos elétricos necessários para tais dispositivos. Sem um balanço de massa correto e um rigoroso controle de qualidade no processo, as unidades apresentam baixo rendimento elétrico.

Tabela 23 – relação entre as baterias analisadas.

Material	K1	K2	Y3	C4	C5	C6
Grade positiva (g)	16,17	13,66	15,03	13,97	16,93	12,60
Grade negativa (g)	16,17	13,66	12,41	13,11	16,93	11,74
Placa positiva (g)	25,82	27,88	32,82	28,46	29,31	30,83
Placa negativa (g)	25,91	24,68	27,33	24,99	28,18	26,30
Material positivo (PbO ₂) (g)	9,65	14,22	17,79	14,49	12,38	18,23
Material negativo (Pb) (g)	9,74	11,02	14,92	11,88	1125	14,56
Percentual de massa positiva em relação a grade (%)	37,37	51,00	54,20	50,91	42,23	59,13
Percentual de massa negativa em relação a grade (%)	37,59	44,65	54,59	47,53	39,92	55,36
Dimensões da grade negativa (a x b x c) (cm)	5,70 x 1,70 x 0,14	5,40 x 5,40 x 0,16	5,70 x 6,00 x 0,14	5,70 x 5,60 x 0,15	5,95 x 5,54 x 0,15	5,70 x 6,00 x 0,14
Dimensões da placa grade (a x b x c) (cm)	5,70 x 1,70 x 0,14	5,40 x 5,40 x 0,16	5,70 x 6,00 x 0,17	5,70 x 5,60 x 0,15	5,95 x 5,54 x 0,15	5,70 x 6,00 x 0,18
Volume da grade negativa (cm ³)	4,54	4,66	4,78	4,78	4,94	478
Volume da grade positiva (cm ³)	4,54	4,66	5,81	4,78	4,94	6,15
Densidade placa negativa (g/cm ³)	2,14	2,36	3,12	2,48	2,27	3,04
Densidade g/cm ³ placa positiva (g/cm ³)	2,12	3,05	3,06	3,03	2,50	2,96
Volume da solução por célula (cm ³)	45	45	40	42	45	x
Densidade da solução de ácido sulfúrico (g/cm ³)	1,270	1,270	1,320	1,300	1,270	x
Concentração de ácido sulfúrico (%)	36,19	36,19	41,95	39,68	36,19	x
Massa de ácido sulfúrico por célula (g)	16,28	16,28	22,16	21,66	16,28	x
Peso da bateria sem ativar (g)	1720	1540	1630	1651	1632	1563
Peso de componentes com chumbo (g)	1570	1390	1480	1501	1482	1413
Peso da bateria ativada (g)	2062	1883	1925	1970	1975	1880
Coeficiente de rendimento 4 Ah / peso da bateria ativada. (projeto)	0,0019	0,0021	0,0021	0,0020	0,0020	0,0021

Fonte : autor

Considerando que a maioria do peso da bateria é dos materiais que tem como base o chumbo e que esse representa a maior fatia do custo de uma bateria, a falta de eficiência energética é um desperdício.

3.0 CONCLUSÕES

O principal objetivo desse trabalho era fazer o estudo e o melhoramento do processo, para obter melhorias no rendimento elétrico da bateria. Um êxito parcial foi obtido apesar de não termos alcançado um desempenho do rendimento elétrico desejado mas, houve uma evolução em relação ao dispositivo fabricado anteriormente ao trabalho.

Quando correlacionado com alguns modelos de baterias para motocicletas fabricadas nacionalmente, observou-se um produto com mais qualidade, com as especificações mínimas atendidas.

Houve grande dificuldade de encontrar materiais técnicos sobre o assunto, devido ao pouco desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil.

Em relação a Konder Moto, observou-se um esforço para obter melhorias e adequação do produto no mercado. Esse esforço, no entanto, tem de ser ainda maior. A disponibilização de maiores e melhores recursos para o laboratório de controle de qualidade e o investimento em equipamentos e profissionais são fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos. Há uma certa urgência em investir em equipamentos de análise instrumental, tais como um espectrofotômetro de emissão ótica e um espectrofotômetro de absorção atômica.

Para validar as melhorias utilizaram-se ensaios elétricos funcionais, porém rudimentares que dificultaram a qualidade de tais ensaios. Outros tipos de ensaios dispostos nas normas adquiridas para a execução desse trabalho não foram possíveis de realizar, portanto a construção de um laboratório elétrico compacto é fundamental bem como a parceria com instituições que prestam esse tipo de serviços. Pode-se citar como exemplos, o Instituto de Desenvolvimento de Tecnologia do Paraná (LACTEC), ou a Fundação de Ensino Superior Tecnológico (SOCIESC), localizada em Joinville.

Deixo como sugestão a continuidade de trabalhos técnicos, seja em forma de estágios de futuros profissionais, seja como pesquisa em parceria com instituições de ensino superior, seja como contratos específicos a serem firmados com pesquisadores qualificados.

Aproveito para agradecer a Konder Moto e a sua equipe de profissionais pela oportunidade e espaço concedido para a execução do mesmo.

REFERÊNCIAS

ALABC (**Advanced Lead Acid Battery Consortium**) **Project N 3.1 Final Report ILZRO, Junho 2002**. Influence of residual elements in lead on the oxygen and hydrogen gassing rates of lead acid batteries.

BODE, Hans. **Lead- acid batteries**, A Wiley-Interscience publication, 1977, pg. 388.

D'Alkaine Carlos Ventura – UFSCar , Impinnisi Patricio Rodolfo - LACTEC. Trabalhos apresentados de diversos temas de melhoramento de baterias chumbo - acido. **Funcionamento de baterias de chumbo-ácido, Processos nas placas**, IX ENBAT, Dezembro 2006.

D'Alkaine Carlos Ventura – UFSCar , Impinnisi Patricio Rodolfo - LACTEC. Trabalhos apresentados de diversos temas de melhoramento de baterias chumbo - acido. **Impurezas de chumbo e acido sulfúrico, Processos de formação, ligas de chumbo**, X ENBAT, Dezembro 2007.

Cardoso, Paulo Eduardo dos Reis. **Estudo de correlação de parâmetros elétricos terminais com características de desempenho em baterias**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP: 2005.

Kreusch, Marcio Alexandre. **Avaliação com propostas de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escoria gerada**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Engenharia Química, PR: 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. NBR 10004:2004 **Resíduos Sólidos**, Rio de Janeiro, 2004. 71p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. NBR 10963 **Baterias chumbo acido de partida e iluminação para motocicleta**, Rio de Janeiro, 1986. 12p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. NBR 10964 **Baterias chumbo acido de partida e iluminação para motocicleta verificação das características elétricas mecânicas**, Rio de Janeiro, 1990. 14p.

APÊNDICE A - A EMPRESA

Nome e Razão Social: Konder Moto do Brasil Ltda.

Cidade-Estado: Sangão – Santa Catarina.

Endereço: Rod. Br 101 Km 356, s/nº

Bairro: Morro Azul

Endereço eletrônico: dp tecnico@konder.com.br / venda@konder.com.br

Site da empresa: www.konder.com.br

Setor do estágio: Produção de placas.

Nome do Supervisor na Empresa: Antonio Depieri Neto.

Período de estágio: 3 meses.

A Konder Moto é uma indústria de baterias para motocicletas, e tem como seu principal objetivo, trabalhar com seriedade e responsabilidade, oferecendo ótimos produtos e garantia de qualidade para satisfação do consumidor. São seis modelos de baterias com duas linhas distintas atendendo vários modelos de motos. Atualmente trabalha no projeto de mais duas baterias e numa terceira linha. Procurando aperfeiçoar seu processo, investindo em máquinas, equipamentos e principalmente em pessoas. Valorizando os seus colaboradores, garantindo qualidade, responsabilidade social, respeito ao meio ambiente, compromisso com a interação com a comunidade e segurança no trabalho são prioridades da empresa.