



**XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GIA/12
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

GANHOS AMBIENTAIS COM A UTILIZAÇÃO DE BATERIAS ESTACIONÁRIAS DE LÍTIO-ÍON

**Alexandre Pinhel Soares(*)
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

RESUMO

Ao longo da história do Homem, as grandes vantagens de manuseio e durabilidade do chumbo têm sido postas de lado devido ao alto nível de agressividade ambiental e biológica que esse elemento apresenta. Nas últimas décadas as aplicações que empregam chumbo tem se reinventado e buscado alternativas mais sustentáveis tornando-o um elemento em decadência na Sociedade.

Atualmente, a principal aplicação do chumbo é o armazenamento de energia elétrica. Nesse tema as baterias de chumbo possuem dominância absoluta se comparadas a outras tecnologias. Esse trabalho aborda essa realidade e apresenta a proposta e os resultados parciais da substituição dessas baterias, em Furnas Centrais Elétricas, por baterias de lítio-íon.

PALAVRAS-CHAVE

Resíduos sólidos, Chumbo, Bateria de chumbo, Bateria de lítio-íon.

1.0 - INTRODUÇÃO

O chumbo é um dos elementos com utilização mais antiga. Há artefatos com mais de seis mil anos e, por descobertas na China e em toda Europa, sabe-se que esse elemento era também muito disseminado.

Isso se deve à sua grande difusão, fácil extração e grande facilidade de manuseio obtido graças a algumas propriedades interessantes como ductilidade, maleabilidade e baixo ponto de fusão. Outra característica importante, porém negativa, é a sua toxicidade. O chumbo é classificado como material persistente bioacumulativo e tóxico (PBT), não podendo ser exposto ao meio ambiente sem cuidados específicos.

Na Europa o chumbo alcançou seu apogeu durante o Império Romano [1], empregando dezenas de milhares de pessoas na extração e fundição. Era largamente utilizado em tubulações, cosméticos, estruturas de telhados e tintas, mas foi como adoçante do vinho que o chumbo deixou sua marca nesse período histórico. O suco da uva era fervido em potes de chumbo e o ácido acético reagia formando o acetato de chumbo, conhecido como açúcar de chumbo, composto altamente tóxico.

A intoxicação por chumbo é conhecida por Saturnismo, referência à Saturno, deus relacionado ao metal. Ela provoca problemas renais e alterações no metabolismo no sangue e no sistema nervoso central.

A aristocracia romana, devido ao maior consumo de vinho adoçado, sofria mais seriamente. Há corrente histórica [1] que defende que o chumbo teve papel chave no colapso da sociedade romana, especialmente como responsável pela insanidade mental de várias figuras importantes, inclusive imperadores.

Além da intoxicação pelo vinho havia também exposição devido à água transportada pelas tubulações e à fumaça das fundições, caracterizando um problema de saúde pública identificado por alguns pensadores da época como Plínio, o velho, Vitruvius, o maior arquiteto romano e o próprio Hipócrates, o Pai da Medicina.

(*) Rua Real Grandeza 219, Bloco E, Sala 109 – Botafogo – Rio de Janeiro – 22281-900
Tel: (+55 21) 2528-4049 – Fax: (+55 21) 2528-5656 – Email: pinhel.furnas@gmail.com

Com a queda de Roma o uso do chumbo foi reduzido, mas suas características vantajosas fizeram com que não demorasse muito a voltar a ser explorado. Isso ocorreu no Vale do Reno (atual Alemanha) no século VII. Com a expansão industrial da Inglaterra do século XVII o chumbo retomou seu lugar de destaque.

Apesar dos sintomas da intoxicação serem conhecidos desde a Antiguidade, foi somente na década de 1970 que se iniciou movimento contra o metal. O chumbo vinha sendo utilizado como aditivo na gasolina (chumbo tetraetila - TEL) desde os anos 1920 [2]¹ e a contaminação alcançou grande escala sendo percebida nos anos 1950.

Nessa época foram feitas medições em rochas antigas para determinar a quantidade de chumbo devido a decaimento radioativo do urânio. Essa informação permitiria determinar a idade da Terra, mas os resultados mostraram haver muito mais chumbo que o esperado.

A partir daí pesquisas médicas confirmaram a extensão do problema, inclusive descobrindo correlação com declínio do desempenho escolar de crianças e com criminalidade. Em 1976 o Governo dos EUA iniciou um movimento de redução do uso do TEL que terminou por ser totalmente banido somente 1995, mas com grande passivo ambiental ao redor de rodovias.

O Brasil proibiu o TEL em 1989, sendo um dos primeiros países a adotar essa medida, mas ele ainda é utilizado no Afeganistão, Coreia do Norte, Iraque, Yemen, Burma e Argélia.

Esse movimento alertou a Sociedade quanto aos problemas associados ao chumbo e, desde então ele sendo sistematicamente retirado de circulação nas suas mais diversas aplicações.

Mais recentemente as questões que envolvem Meio-Ambiente, Sustentabilidade e Qualidade de Vida tem reforçado esse declínio de forma que, atualmente, a única grande aplicação do chumbo é na indústria de acumuladores de energia elétrica, mais comumente chamados de baterias.

Esse trabalho apresenta as ações de Furnas para redução do uso do chumbo em seus sistemas de tecnologia da informação e comunicação (TIC). Após estudos de tendência tecnológica optou-se pela tecnologia lítio-íon como alternativa. O caso apresentado é único na América Latina e um dos pioneiros a nível mundial e descreve os efeitos positivos da substituição de baterias em cinco sistemas da empresa.

2.0 - CHUMBO VS. LÍTIO

A produção de chumbo é dividida entre a exploração de chumbo novo (primário) e a reciclagem (secundário). O chumbo primário normalmente é encontrado com minerais de zinco, prata e cobre. Também é encontrado em presença de urânio e tório, já que vem diretamente da desintegração destes radioisótopos.

O mineral mais importante é a galena (86,6%). A partir dele obtém-se o óxido de chumbo que, em fundições, é reduzido à chumbo metálico com a utilização de coque, fundente e óxido de ferro. O chumbo bruto obtido é separado da escória e refinado até obtenção de liga com alta pureza (99,99%). Na reciclagem o processo é semelhante, sendo utilizado sucata ao invés de chumbo primário.

Segundo o Credit Suisse [3] os grandes exploradores de chumbo primário são o EUA, Canadá, Peru, Austrália, México e China. Já os grandes recicladores são aqueles que usam maior quantidade de baterias em seu território, i.e., os detentores das maiores frotas automotivas. Destacam-se nesse caso a China e os EUA.

Com a ampliação da percepção dos impactos negativos do chumbo, a Indústria se viu forçada a desenvolver substitutos tecnológicos. Além dos utensílios domésticos e dos combustíveis, o chumbo foi banido das tintas e vernizes para uso residencial, cosméticos e tubulações.

Ainda há uso em equipamentos de proteção radiológica, tintas para demarcação, munições, detonadores, revestimentos de cabos elétricos, soldas, pesos para rodas de carros e para pesca, cristais², cerâmicas e algumas aplicações biocidas³ e químicas⁴.

Na tabela 1 pode ser vista a média mundial de consumo de chumbo por aplicação. Percebe-se que a única aplicação importante em termos de volume de utilização do metal é a acumulação de energia elétrica em baterias⁵.

¹ A General Motors patenteou o uso do TEL como antidetonante, mas evitou o uso da palavra "chumbo" na comercialização chamando o produto de Ethil. A Standard Oil e a Du Pont também estavam envolvidas com a produção e cientes dos potenciais problemas de saúde.

² Os cristais com chumbo apresentam mais brilho e transparência e são muito valorizados, como o Baccarat e Swarovski.

³ Pinturas navais inibidoras de incrustação de moluscos, agentes bactericidas e antihelmínticos, proteção da madeira contra brocas e fungos, preservadores para o algodão contra o mofo etc.

⁴ Processos que requeiram grande resistência à corrosão, como é o caso do manuseio de ácido sulfúrico.

⁵ No Brasil as baterias correspondem atualmente (2012) a mais de 95% do uso do chumbo.

Tabela 1- Aplicações do chumbo (média mundial 2005-2010)

Aplicações	%
Baterias	80
Produtos laminados e extrudados	6
Pigmentos e outros compostos	5
Munições	3
Ligas metálicas	2
Revestimentos de cabos	1
Outros	3

Fonte: International Lead and Zinc Study Group - ILZSG [4]

Diante dessa realidade e para todos os efeitos práticos, pode-se considerar que, atualmente, o consumo mundial de chumbo equivale ao consumo de baterias chumbo-ácidas, mais especificamente às baterias automotivas.

Desenvolveu-se então uma forma simplificada, porém representativa, de demonstrar a decadência de uso do chumbo a partir da análise dos países com indústria automobilística mais relevante.

Para tanto, foram utilizados os dados do PIB, do consumo de chumbo e o indicador de intensidade de uso (IU). Este último baseia-se nos dois primeiros e informa o quanto determinado item tem de participação na economia de uma região [5]. No caso dos metais o IU é a razão entre a quantidade consumida (em milhares de toneladas) e o PIB do país (em milhões US\$).

O resultado dessa análise pode ser visto na figura 1. Destaca-se aí a expansão da China e da Índia que se deve tanto ao aumento da fabricação de automóveis próprios como também à fabricação de baterias para montadoras estrangeiras. Apesar disso, percebe-se que até mesmo nesses dois países o chumbo vem perdendo influência econômica, uma vez que seus indicadores de intensidade de uso também apresentaram redução.

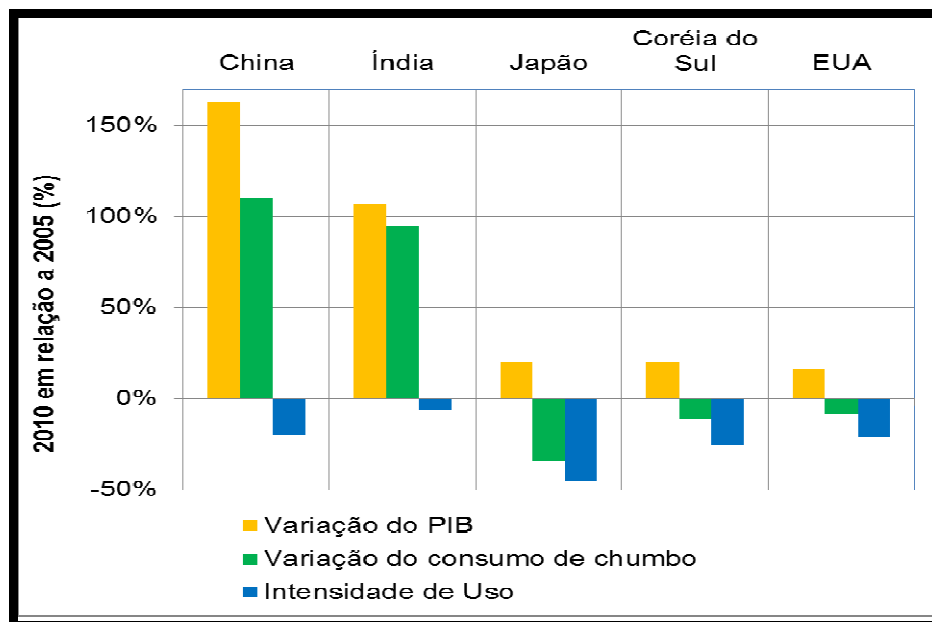


Figura 1: Uso do chumbo nos países com indústria automobilística mais relevante

Fonte: Desenvolvimento próprio com dados do ILZSG [4] e do World Bank [6]

Essa constatação confirma a tendência mundial ao afastamento das soluções técnicas que envolvem utilização de chumbo, seja por regulamentações ambientais e sanitárias, seja pelos custos associados aos passivos gerados.

Reflete também a importância que o veículo elétrico está adquirindo em alguns países, contexto que fará aumentar a utilização das baterias de lítio-íon em detrimento das baterias chumbo-ácidas.

A bateria chumbo-ácida foi inventada por Gaston Planté em 1859 e foi o primeiro dispositivo eletroquímico capaz de ser recarregado. Seu princípio de funcionamento permanece o mesmo até hoje e consiste na utilização de eletrodos de chumbo e óxido de chumbo imersos em ácido-sulfúrico. Em 1881 Camille Faure aprimorou enormemente o invento original de Planté viabilizando sua fabricação em escala industrial.

Apesar de algumas tentativas de viabilização de veículos elétricos no final do século XIX, foi só em 1912, com a ignição elétrica de Charles Kettering, que a bateria chumbo-ácida passou a fazer parte do automóvel. Com essa inovação qualquer pessoa podia dar partida no veículo o que impulsionou fortemente a indústria automobilística. Curiosamente Kettering também foi o idealizador da gasolina aditivada com chumbo.

A retomada do veículo elétrico está alavancando a indústria de baterias avançadas, uma vez que as chumbo-ácidas são tecnicamente impróprias para esse uso. Elas são pesadas, tem baixo rendimento, ocupam grande espaço e demoram para ser carregadas.

As novas tecnologias que estão surgindo, além de viabilizarem os veículos elétricos, substituirão também o chumbo nas aplicações estacionárias como Centrais de Processamento de Dados e de Telefonia, hospitais e outros serviços essenciais que necessitam de backup em caso de falta de suprimento de energia.

A percepção desse cenário em conjunto com questões de insatisfação quanto à confiabilidade e durabilidade das baterias de chumbo, motivou Furnas a investigar alternativas. Nessa pesquisa concluiu-se que as baterias de lítio-íon eram a opção mais promissora.

Inúmeras são as vantagens técnicas obtidas com a adoção dessas baterias. Elas são mais leves, ocupam menos espaço, apresentam custo de manutenção reduzido e são mais confiáveis [7].

Esses fatores já seriam suficientes para motivar a adoção dessa tecnologia, porém há também ganho ambiental devido à redução da geração de resíduos sólidos contaminados com chumbo nos processos de fabricação e reciclagem [8].

Na figura 2 pode-se ver a diferença entre os ambientes de trabalho encontrados nos processos produtivos dessas duas tecnologias, o que se reflete na qualidade geral dos respectivos produtos, dentre outras coisas.

Como exemplo, em 2011 os cinco maiores produtores brasileiros de baterias estacionárias colocaram em circulação aproximadamente 5000t de chumbo. Estima-se que, ao término da vida útil, esse material será reciclado com um aproveitamento da ordem de 95%, resultando no não reaproveitamento de 250t, que acabarão sendo descartados sem controle.

Do total reciclado, 20t são perdidas no processo, contaminando 2000t de escória proveniente do material utilizado nos fornos de derretimento. Essa escória, apesar de proporcionalmente possuir pouco chumbo, estará suficientemente contaminada para ter que ser armazenada em aterros industriais, gerando passivo ambiental não desprezível⁶.

Na figura 3 são apresentados exemplos da sucata de chumbo utilizada na reciclagem e da escória resultante do processo de fundição. Esta última é composta, principalmente, dos tijolos refratários do forno, que devem ser substituídos periodicamente.

Já as baterias de lítio-íon são totalmente recicladas através de diversas técnicas, principalmente derretimento e refino [9], não gerando passivo ambiental preocupante. Não é ainda economicamente viável o reuso do lítio na fabricação de baterias, mas consegue-se material agregado com alumínio para uso indústria do cimento e cerâmica. Já o cobre, níquel cobalto e ferro presentes nessas baterias são refinados e totalmente reaproveitados. Na figura 4 podem ser vistos esses materiais.

⁶ Dados obtidos com fabricantes nacionais. Além dos resíduos de chumbo, há também passivo ambiental decorrente do descarte do ácido sulfúrico utilizado na bateria chumbo-ácida na função de eletrólito.



Figura 2: Exemplos de processo produtivo da bateria chumbo-ácida no Brasil (acima) e da bateria de lítio-íon nos EUA (abaixo)
Fonte: Alexandre Pinhel Soares



Figura 3: Chumbo secundário (esq) e escória gerada no processo de reciclagem (dir)
Fotos: Alexandre Pinhel Soares



Figura 4: Agregado Li-Al uso na indústria de cimento e cerâmica (esq) e liga Cu-Co-Fe-Ni para refino e reuso na fabricação de baterias lítio-íon (dir)
Fotos: Alexandre Pinhel Soares - Tamanho real

Outro aspecto relevante está exemplificado na figura 5. Pelas diferenças de tamanho e composição, a energia total gasta em baterias de lítio, contabilizando todas as etapas da vida útil, em especial a extração das matérias primas, manufatura e operação (recargas e flutuação), é inferior a 25% da energia gasta em baterias chumbo-ácida equivalentes.

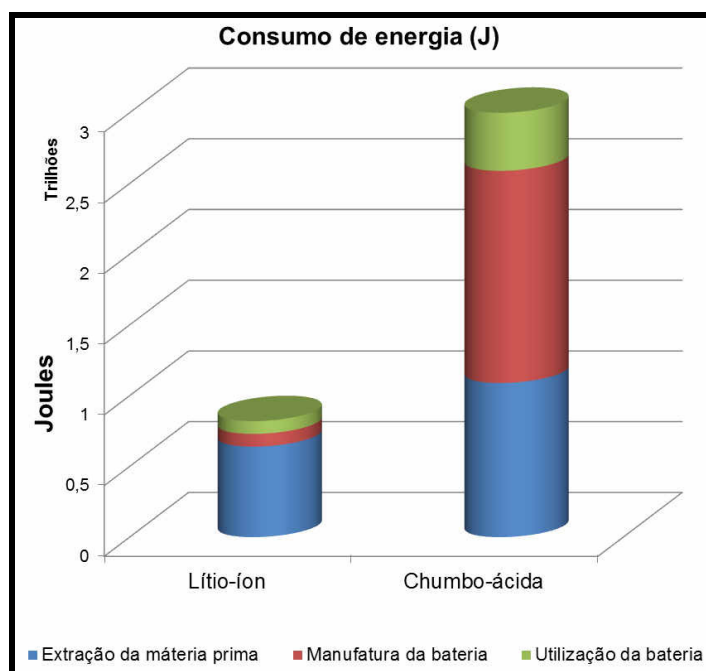


Figura 5: Demandas de energia durante a vida útil das baterias de chumbo e lítio.
(Baterias de 80Ah operando por 15 anos à uma temperatura de 35°C)
Fonte: Desenvolvimento próprio a partir de estudo realizado pela empresa SAFT

3.0 - RESULTADOS E PERSPECTIVAS

Devido à natureza de seu negócio e à grande extensão geográfica de sua área de atuação, Furnas depende fortemente de serviços de comunicação de voz e dados. Esses serviços são prestados por sistemas de tecnologias da informação e comunicação (TIC) distribuídos em dezenas de instalações e cujas fontes de energia empregam baterias chumbo-ácidas. Conforme características de projeto, essas fontes podem ser retificadores, inversores ou UPSs⁷.

⁷ Uninterruptible Power Source/Supply, também conhecidos por "nobreaks".

3.1 Retificadores para sistemas de TIC

Os retificadores são equipamentos que recebem a energia comercial em baixa voltagem e corrente alternada e a transformam em uma voltagem específica em corrente contínua. Essa transformação é conhecida como retificação, daí o nome do equipamento. Eles também estão conectados a baterias, para o caso de falta de fornecimento da energia comercial.

Os retificadores utilizados em sistemas de TIC em Furnas operam em 48V e usam grandes baterias externas, normalmente da ordem de 200Ah ou maiores. Estas têm vida útil esperada superior a dez anos e pesam, pelo menos, 1t. As iniciativas aqui descritas já afetaram cinco desses sistemas.

Uma comparação entre as duas tecnologias pode ser vista na figura 6⁸. A extensão dessa iniciativa para os demais retificadores de 48V de Furnas resultará na redução de uso de mais de 100t de chumbo.



Figura 6: Visão comparativa entre as baterias chumbo-ácidas (esq) e as de lítio-íon (dir) utilizadas em um sistema retificador operando na voltagem de 48V
Foto: Alexandre Pinhel Soares

3.2 Inversores para sistemas de TIC

Ao contrário dos retificadores, os inversores recebem voltagem em corrente contínua e a transforma em corrente alternada com características semelhantes à energia comercial. i.e., operam de forma inversa aos retificadores, daí o nome.

Por questões técnicas, os inversores são conectados a baterias pertencentes a retificadores. As melhorias obtidas nesses casos serão meras consequências das modificações realizadas nos retificadores, não havendo, portanto ganho real em termos de redução do uso do chumbo.

⁸ Nesse exemplo o sistema com baterias de lítio tem pouco menos da metade da capacidade do sistema chumbo-ácido, mas mesmo considerando essa diferença, os ganhos de espaço são evidentes.

3.3 UPS's para sistemas de TIC

Diferentemente dos retificadores, os UPSs utilizados por Furnas nos sistemas de TIC são de pequeno porte e possuem baterias internas. Essa característica faz com que a temperatura de operação das baterias seja mais alta, reduzindo a vida útil. Tipicamente elas são substituídas em períodos da ordem de três a cinco anos. A grande quantidade desses equipamentos associada à substituição frequente das baterias gera volume de descarte não desprezível, justificando preocupação ambiental.

Nessa linha de ação Furnas iniciou um programa de modificação de UPSs existentes de forma a que operem com baterias de lítio. Um exemplo desse resultado pode ser visto na figura 7. Nesse caso, três sistemas pertencentes ao Centro de Operações de Furnas e que necessitavam de baterias novas foram adaptados para uso com baterias de lítio. Essa ação resultou na não aquisição de cerca de 75kg de chumbo.

Como esse tipo de equipamento existe em toda a empresa devido à capilaridade dos serviços de TIC, a redução do uso do chumbo pode alcançar valores expressivos. Por exemplo, se todos os demais UPSs utilizados no Centro de Operações de Furnas fossem adaptados, cerca de 2t de chumbo deixariam de ser utilizadas. Porém, por questões de compatibilidade dos níveis de voltagem utilizados internamente nos UPS, nem todos esses equipamentos podem ser modificados com segurança e custo aceitável. Na prática somente os UPSs com voltagem interna de 48V são passíveis de alteração. Essa estratégia deverá ser mantida até que os fabricantes disponibilizem produtos intrinsecamente baseados em lítio.



Figura 7: Sistemas UPS modificados para operarem com baterias de lítio-íon (esq) e as baterias de chumbo que foram substituídas (dir).

Fotos: Alexandre Pinhel Soares

3.4 Baterias para uso em outros sistemas

Há baterias que poderiam ser utilizadas em retificadores e UPSs que operam com 24V. Porém aspectos de segurança inerentes a essas baterias sugerem cautela, tornando essas aplicações inviáveis na prática.

Já para voltagens superiores a 48V há possibilidades interessantes e seguras. Em empresas do Setor Elétrico, por exemplo, utiliza-se 125V em corrente contínua em equipamentos de manobra em subestações de energia. Há também oportunidades em sistemas UPS de grande porte como os utilizados para fornecer energia elétrica para computadores *mainframes*. Entretanto, a complexidade e o custo das soluções baseadas em lítio para esses casos torna essa linha de ação pouco atrativa técnica e financeiramente.

Espera-se que a popularização das tecnologias baseadas em lítio altere esses cenários em breve.

4.0 - CONCLUSÕES

Ao perceber que o chumbo pode ser nocivo à saúde humana e ao Meio Ambiente a Sociedade decretou o início da decadência desse elemento. Seja qual for a aplicação, as soluções tecnológicas que não contenham chumbo serão preferidas.

Os canos de PVC substituíram as tubulações de chumbo e as tintas, corantes, vernizes, cosméticos, plásticos e combustíveis não possuem mais esse elemento em suas formulações. Atualmente a única aplicação do chumbo que merece destaque em termos de volume de produção são as baterias chumbo-ácidas, especialmente as automotivas.

Apesar do consumo de chumbo estar aumentando este é um fenômeno de curto prazo devido à expansão das frotas de veículos especialmente na China e Índia. No longo prazo essa tendência se inverterá, pois o fato da bateria chumbo-ácida não estar alinhada com as exigências ambientais traz reatividade ao seu consumo.

Somado a isso, a crescente popularização dos veículos elétricos está alavancando novas tecnologias para baterias, notadamente as que utilizam lítio em suas formulações. Essa transição da indústria automobilística reduzirá ainda mais o espaço que o chumbo ocupa na Sociedade. Também a redução do uso de baterias chumbo-ácidas estacionárias trará benefícios ao Meio-Ambiente.

Furnas ao adotar a bateria de lítio-íon em seus sistemas de TIC já conseguiu reduzir o consumo de chumbo em várias toneladas. Além de pioneira, essa linha de ação servirá de exemplo para a redução progressiva do consumo desse metal não só no Setor Elétrico, mas também nas Telecomunicações e nos demais setores industriais brasileiros.

Como foi visto, atualmente as possibilidades de uso estacionário mais interessantes estão restritas às aplicações em 48V, porém com a crescente maturidade dessas tecnologias certamente esse escopo será ampliado reduzindo ainda mais a relevância do chumbo na Sociedade.

No longo prazo possivelmente as únicas aplicações importantes que restarão para esse outrora importante metal serão as relacionadas com radiologia.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Retief, F., Cilliers, L. P. "Lead poisoning in ancient Rome", Acta Theologica, Vol.26:2, 2006.
- [2] Kovarik, B., Charles F. Kettering and the 1921 Discovery of Tetraethyl Lead In the Context of Technological Alternatives, Society of Automotive Engineers Fuels & Lubricants Conference, Baltimore, USA, 1994.
- [3] Credit Suisse, Commodities Forecast Update: From Fear Flows Opportunity, 2012.
- [4] ILZSG - International Lead and Zinc Study Group. Disponível em <www.ilzsg.org>. Acesso em 21 de junho de 2012.
- [5] MME - Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Relatório Técnico 26 - Perfil do Minério de Chumbo, Brasil, 2009.
- [6] World Bank. Disponível em <www.worldbank.org>. Acesso em 21 de junho de 2012.
- [7] Horiba T., Maeshima T., Matsumura T., Koseki M., Arai J. e Murakana Y. Applications of high power density lithium ion batteries. Journal of Power Sources. v.146, 107-110, 2005.
- [8] Soares, A.P. et al., A bateria estacionária de lítio-íon como alternativa nas Telecomunicações do Setor Elétrico brasileiro, Congresso Brasileiro de Manutenção, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- [9] Pietrelli, L. - "Metal Recycling From Exhausted Batteries", Proc. Global Symp. Recycling Waste Treatment and Clean Technology, vol II (1999) pag. 675-680.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alexandre Pinhel Soares graduou-se em Engenharia Eletrônica (UFRJ -1994) e, desde então, trabalha em Furnas com Engenharia de Manutenção. É Senior Member do IEEE, tem mestrado em Propriedade Intelectual e Inovação (INPI 2014) e pós-graduações em Climatologia (UERJ 1995) e Gestão da Inovação (UNICAMP 2011). É autor de um livro sobre Descargas Eletrostáticas e recebeu premiações técnicas da ABRAMAN, CIGRÉ e APTEL. (Fonte: CV Lattes: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4778641Z5>)