

**CENÁRIO BRASILEIRO DE LOGÍSTICA REVERSA DAS BATERIAS
ÍON-LÍTIO E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO**
*BRAZILIAN SCENARIO OF REVERSE LOGISTICS OF LITHIUM-ION
BATTERIES AND PROCESSING METHODS*

CARDOZO, Rogerio Ribeiro Cardozo ¹; GOUVEA, Monique Lemes ²;
CHAVES, Márcia Rodrigues de Morais ³; ANTONIASSI, Beatriz ⁴.

RESUMO

A logística reversa (L.R) é definida como o fluxo inverso de um produto, que começa após o seu consumo, passando pelas fases do descarte, coleta, transporte e reciclagem. Este fluxo reverso tem aumentado consideravelmente por diversos fatores sendo os principais a preocupação com o meio ambiente e o reaproveitamento de produtos ainda utilizáveis na confecção de produtos novos. O crescente aumento na produção de equipamentos eletro portáteis (telefones e computadores), e a substituição rápida e constante destes dispositivos por outros mais modernos, geram um aumento na demanda por baterias novas e com maior capacidade e, conseqüentemente, o descarte em quantidades proporcionais destes produtos que são incluídos na classe de resíduos denominada lixo eletrônico. Entretanto, pouco se sabe sobre a logística reversa de pós-consumo das baterias íon-lítio no Brasil. Este artigo apresenta possíveis fluxos da logística reversa além de processos de coleta e reciclagem das mesmas evidenciando que tais materiais possuem metais tóxicos em sua composição que no caso de descarte incorreto podem impetrar seríssimos danos à saúde humana e ao meio ambiente. Ao serem reciclados esses metais e outros materiais contidos serão utilizados como matéria-prima para novas baterias e para outros produtos. Verificou-se que não existe ainda no Brasil uma cadeia de qualidade na logística reversa para as baterias íon-lítio, e que dentre os processos utilizados na reciclagem desses resíduos, o que se mostra menos nocivo e, portanto, se destaca é o processo hidrometalúrgico. Conclui-se que se faz necessária a cadeia da logística reversa para que as baterias íon-lítio possam ser recicladas e que esse processo traga benefícios tanto ambientais quanto econômicos e legais.

Palavras-chave: Lixo eletrônico. Logística reversa. Impacto ambiental. Reciclagem.

ABSTRACT

Reverse logistics (L.R) is defined as the reverse flow of a product, which begins after consumption, through the disposal, collection, transport and recycling stages. This reverse flow has been considerably increased by several factors, the main being the concern with

¹ Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Sagrado Coração – USC – Bauru – São Paulo – Brasil. roger.cardozo@hotmail.com

² Graduada em Engenharia Química pela Universidade do Sagrado Coração – USC – Bauru – São Paulo – Brasil. moniquelgouvea@gmail.com

³ Universidade do Sagrado Coração - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG)– Bauru – São Paulo – Brasil. marciachaves1973@gmail.com

⁴ Universidade do Sagrado Coração - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG)– Bauru – São Paulo – Brasil. beatrizantoniassi@gmail.com.

the environment and the reuse of products still usable in the manufacture of new products. The increasing increase in the production of electro-portable equipment (telephones and computers), and the rapid and constant replacement of these devices by more modern ones, generate an increase in the demand for new batteries and with greater capacity and, consequently, the discarding in proportional quantities of these products that are included in the class of waste called junk mail. However, little is known about the reverse logistics of post-consumption of lithium-ion batteries in Brazil. This article presents possible flows of reverse logistics as well as the collection and recycling processes of the same, evidencing that such materials contain heavy metals in their composition that in the case of incorrect disposal can cause serious damage to human health and the environment. When recycled these metals and other materials contained will be used as raw material for new batteries and other products. It was verified that a quality chain in the reverse logistics for lithium-ion batteries does not yet exist in Brazil, and that among the recycling processes used in the recycling of these wastes, what is less harmful and therefore stands out is the hydro-metallurgical process. It is concluded that the reverse logistics chain is necessary so that the lithium-ion batteries can be recycled and that this process brings benefits as much environmental as economic and legal.

Keywords: Electronic waste. Reverse logistic. Environmental Impact. Recycling.

INTRODUÇÃO

A globalização cultural e econômica aliada aos avanços tecnológicos levaram à mudanças drásticas do consumo humano, impactando significativamente o meio ambiente. Destes impactos, os mais consideráveis são os provocados pelos telefones celulares e conseqüentemente suas baterias que são os componentes principais em termos de resíduos. De acordo com a União Internacional das Telecomunicações (UIT), o setor foi o que mais se desenvolveu com a habilitação de 7 bilhões de celulares no mundo em 2015 e no Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) registrou somente em março de 2016 habilitações na ordem de 257,81 milhões de novas unidades (JUNIOR, 2015; ANATEL, 2016).

Ocorre portanto, um crescente aumento na produção destes equipamentos eletrônicos portáteis (computadores e telefones), bem como a rápida substituição desses dispositivos trocando-se por produtos tecnologicamente mais avançados, gerando assim um aumento na demanda de novas baterias e, conseqüentemente, o descarte mais frequente desses resíduos eletrônicos (O'FARRELL et al., 2014). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através da Lei 12.305/2010 (Lei da Co-responsabilidade) regula a disposição final desses resíduos (BRASIL, 2010).

De acordo com esta Lei, Logística Reversa (LR) é definida como:

[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Essa Lei no seu Art. 33, exige que os fabricantes e distribuidores de baterias, implementem a LR, ou seja, estruturem um programa de coleta e reciclagem das baterias após o seu uso, dividindo com o consumidor a responsabilidade da logística reversa, uma vez que o processo de reciclagem trará benefícios ambientais pois reduz o consumo de energia, as emissões de gases de efeito estufa e resulta em um índice de 51,3% de economia de recursos naturais quando comparada ao seu descarte em aterros sanitários controlados (GAINES et al., 2011; DEWULF et al., 2010; FISHER et al., 2006; HISCHIER et al., 2005).

Segundo Pereira et al. (2012) foi na década de 1980 que a LR começou a ser abordada mais intensamente tanto nas empresas como no meio acadêmico. Em muitos países há inúmeros estudos e publicações sobre o tema, tratando não só o meio ambiente, mas também questões econômicas, entre outras.

Diante do exposto este trabalho apresenta uma análise do cenário Brasileiro atual de logística reversa (LEITE, 2009) e métodos de processamento utilizados na reciclagem de baterias íon-lítio.

MÉTODOS

Através de pesquisa exploratória utilizando a pesquisa bibliográfica esse estudo identificou o estado da arte e as possíveis lacunas que possam existir no processo de logística reversa das baterias íon-lítio bem como a identificação de novas oportunidades de contribuições para o tema em estudo (VILLAS; MACEDO-SOARES; RUSSO, 2008; FORZA, 2002).

O aprofundamento de conhecimento sobre o assunto foi buscado em diversas e diferentes fontes de informação, como sites de direito, livros, monografias, documentos, periódicos, etc., ao localizar fontes seguras, identificá-las e compilar as mesmas. Nesta pesquisa, foram utilizados também arquivos privados, pertencentes à instituições privadas ou particulares como, por exemplo, indústrias (MARCONI; LAKATOS, 2003).

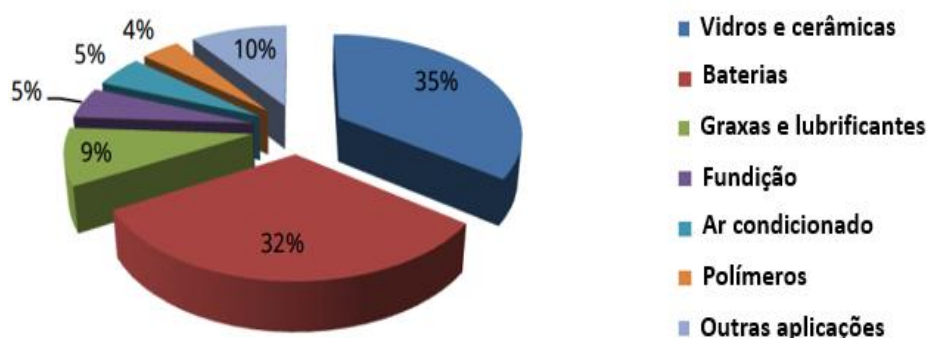
Assim, buscou-se apresentar o atual estado da arte no Brasil, em relação à logística reversa e o métodos de processamento das baterias íon-lítio.

DISCUSSÕES

O lítio é um metal alcalino sendo o mais leve de todos os elementos da tabela periódica de elementos; na sua forma natural é sólido e macio e não ocorre livre na natureza, sua cor é branco-prateado e brilhante, sua densidade é de $0,534\text{g/cm}^3$, muito baixa, quase metade se comparada com a densidade da água, não é abundante, está presente em 65 ppm da crosta terrestre e 0,1 ppm da água do mar (PEIXOTO, 1995). É encontrado na natureza em minerais ou em sais estáveis (EBENSPERGER; MAXWELL; MOSCOSO, 2005). Dentre os países que possuem reservas de lítio, a Bolívia é o país que possui a maior reserva de lítio do mundo, apesar de suas reservas não possuírem certificação, assim como várias jazidas nos Estados Unidos, Argentina e Brasil. Porém, a Austrália é o país que se destaca como maior produtor (AMTA, 2013).

As principais aplicações do lítio e seus compostos são: em vidros e cerâmicas, graxas e lubrificantes, em sistemas de ar condicionado e desumidificação, produtos farmacêuticos, plásticos, processos de fundição, setor automotivo que está crescendo com os carros elétricos que utilizam baterias de íon-lítio e com destaque para o setor de baterias portáteis, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Aplicações do lítio.



Fonte: USGS (2016)

O setor automotivo vem se destacando com a utilização de baterias de lítio, aumentando a demanda do metal. Apesar de haver muitas reservas de lítio estima-se que até 2020 a oferta seja menor que a procura devido à expansão dos veículos elétricos (AEA TECHNOLOGY, 2010). Existe previsão de que haverá escassez de lítio entre 2021 e 2023 caso o lítio não seja reciclado (SONOC; JESWIET, 2014).

Há basicamente três tipos de baterias para aparelhos celulares, as de Níquel/Cádmio (NiCd), de Hidreto metálico de Níquel (Ni-MH) e de Íon-Lítio (LIB). A bateria NiCd foi criada em 1899 pelo sueco Waldemar Jungner, dentre suas características, a principal é o cádmio, que causa forte impacto sobre o meio ambiente; surgindo, portanto, a necessidade de aprimoramento desse tipo de bateria. Com a evolução tecnológica em armazenamento de hidrogênio, em 1989 foi desenvolvida a bateria de Ni-MH que substituiu o cádmio, possuindo melhor desempenho se comparada com a de NiCd (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Em geral, as baterias de íon-lítio são consideradas significativamente mais seguras do que outras baterias, como níquel metal hidreto e níquel cádmio, e não são perigosas durante a utilização, se operada de acordo com as instruções dos fabricantes. Além disso, uma vez que o lítio é sob a forma de íons, os riscos associados com o metal lítio não estão presentes. Elas são classificadas como Classe 9 - produtos perigosos diversos pela Organização das Nações Unidas (IATA, 2013). Estas classificações referem-se principalmente ao transporte e não fornecem todas as orientações sobre o tratamento dos resíduos de pilhas

Em termos de legislação, para se evitar que as baterias íon-lítio acabem em aterros, regulamentos e a reciclagem para as baterias são obrigatórias em alguns lugares. Enquanto a maioria dos países possuem regulamentos sobre importações e exportações de resíduos perigosos através da Convenção de Basileia, a própria reciclagem por meio de processos muitas vezes não são o foco destes regulamentos (MARIS, 2009).

Nos Estados Unidos, as leis sobre o recolhimento e a reciclagem de baterias variam entre os estados, e apenas as leis da Califórnia e de Nova York englobam as baterias íon-lítio (GAINES, 2014). Baterias de lítio são classificadas como resíduos perigosos e existem requisitos específicos para a embalagem, rotulagem e transporte. A maioria dos estados proíbem o descarte de baterias que contêm chumbo e cádmio em aterros, enquanto em apenas alguns estados todas as baterias recarregáveis são proibidas de serem descartadas como lixo municipal. Na Califórnia, os varejistas que vendem baterias recarregáveis pequenas, não-veiculares devem fornecer aos consumidores um sistema livre para retornar essas baterias para reutilização, reciclagem ou descarte adequado (CALL2RECYCLE, 2016).

Na Europa a European Portable Battery Association (EPBA, 2016) foi a primeira instituição criada, em 1980, para gerenciar a destinação final das baterias, para promover a coleta e a reciclagem das mesmas. A Comissão Europeia (CE) prevê a legislação

destinada a minimizar os efeitos ambientais das baterias através da Diretiva da bateria da UE. No que diz respeito à reciclagem de baterias, a Diretiva 2006/66/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2008) “em pilhas e acumuladores e resíduos de pilhas e acumuladores” fornece legislação sobre a reciclagem de baterias. Define a reciclagem como o “reprocessamento, num processo de produção de materiais residuais para o fim original ou para outros fins, excluindo a recuperação de energia”. Ele afirma que para baterias de íon-lítio, a reciclagem para produzir produtos ou produtos semelhantes para outros fins deve atingir pelo menos 50%, em massa. Esta meta afeta os materiais que são recuperados. Recuperando apenas o cobre, o níquel e o cobalto pode-se atingir uma eficiência de reciclagem de, aproximadamente, 30%. Para conseguir a eficiência alvo, mais materiais devem ser recuperados.

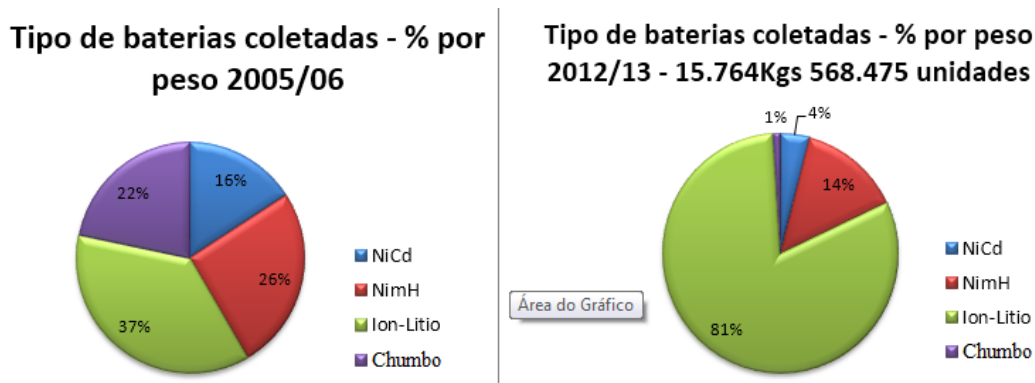
No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 257, de Julho de 1999 regulamenta o descarte de baterias e essa resolução foi complementada em Novembro de 1999 pela Resolução 263, que impôs teores limites para o descarte de metais perigosos (BRASIL, 1999). Entretanto, essa resolução ainda não regulamentava outros metais também perigosos, tanto quanto os que já estavam regulamentados. Devido a esse motivo, foi revogada pela Resolução n° 401, de 4 de novembro de 2008, onde há uma medida que proíbe o descarte de qualquer tipo de bateria em aterros sanitários. O governo, ainda preocupado com o destino do lixo eletrônico, aprovou a Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS e estabelece o gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo também os perigosos; no Artigo 33 a lei impõe que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de baterias implementem sistemas de LR; que tem por objetivos: que a saúde pública seja protegida, assim como o meio ambiente; reciclar, tratar os resíduos sólidos e garantir uma disposição final para que o meio ambiente não seja agredido; promover tecnologias mais limpas para reduzir impactos ambientais (BRASIL, 2010).

O termo *e-waste* significa: resíduos de produtos eletrônicos, como computadores, televisores e telefones celulares (ROBINSON, 2009). Na sociedade atual, há uma disponibilidade significativa e contínua de novas tecnologias e design que levou a uma obsolescência cada vez mais precoce destes dispositivos eletrônicos. Resíduos eletrônicos (RE) são um dos resíduos de maior e mais rápido crescimento no mundo, crescendo à taxa que varia entre 3 e 5% a.a, ou cerca de três vezes mais rápido do que os resíduos sólidos urbanos convencionais (SCHWARZER et al., 2005). Esse aumento da quantidade de lixo eletrônico apresenta desafios para a gestão de resíduos, no que diz respeito aos

impactos ambientais. Algumas formas de *e-waste* contêm produtos químicos perigosos e exigem técnicas de eliminação especializadas. Além disso, o lixo eletrônico contém metais valiosos que podem ser recuperados e reutilizados em novos produtos (ROBINSON, 2009). Quando se fala em produtos eletrônicos não se pode desassociar de suas fontes de energia, as baterias que são o principal foco desse artigo.

O crescimento da quantidade de baterias entregues para reciclagem deixa claro que o aumento de baterias de íon-lítio é significativo. As baterias íon-lítio atingindo o fim da sua vida útil irão crescer mais de 300% a partir do período compreendido entre 2012-2013 até 2019-2020, e este aumento desse tipo de resíduos gera a necessidade de reciclagem. (The green... ([2015?])). Esse crescimento também foi observado em dispositivos particulares. Um exemplo desse crescimento está no uso desse tipo de bateria para telefones móveis. A Figura 2 apresenta o aumento da presença de baterias íon-lítio recolhidas para reciclagem entre 2005 e 2013.

Figura 2 – Porcentagem de baterias íon-lítio enviadas para reciclagem.



Fonte: Australian Mobile Telecommunications Association (2013).

As baterias podem conter materiais contaminantes e perigosos que exigem instalações especializadas para sua reciclagem e/ou recuperação. Se dispostas de maneira errônea em aterros sanitários, podem liberar metais tóxicos, como mercúrio, chumbo e cádmio no solo e nas águas subterrâneas; no caso de incineração, os metais são liberados no ar e na cinza que é posteriormente depositada em aterros vindo de maneira secundária também provocar contaminação. Baterias íon-lítio possuem materiais de menor toxicidade do que outros tipos de baterias, no entanto, se são dispostas em aterros sanitários, o material dentro da bateria nunca poderá ser recuperado (DORELLA; MANSUR, 2007; HABASHI, 1997). Como resultado, quantidades maiores de matérias-primas serão extraídas para a fabricação de novas baterias, promovendo a não economia

de recursos naturais e de energia no processo produtivo e aumentando as emissões de gases são prejudiciais para o meio ambiente. Reparação e reutilização de baterias usadas nos celulares e outros equipamentos móveis é impossível, então a única forma de reciclagem é a recuperação de materiais valiosos (GEORGI-MASCHLER et al., 2012).

Como alternativa ao aterro sanitário, a reciclagem de baterias fornece benefícios ambientais (BERNARDES; ESPINOSA; TENÓRIO, 2003), permitindo a recuperação de recursos não renováveis, reduzindo os impactos ambientais da mineração e fabricação de materiais virgens, e reduzir os impactos ambientais do aterro sanitário (LEWIS, 2010). Para baterias íon-lítio em particular, isso resulta em uma redução global no consumo de energia (GAINES et al., 2011), reduz as emissões dos gases de efeito estufa, e resulta em 51,3% de economia de recursos naturais em comparação ao processo tradicional de fabricação (DEWULF et al., 2010). Também é economicamente viável para recuperar materiais de baterias de lítio usadas. Xu et al. (2008) mencionou que os materiais valiosos em baterias de íon-lítio são cobalto, cobre e níquel, e que a reciclagem das mesmas pode resultar em benefícios econômicos. Empresas de reciclagem operam como um negócio, com o objetivo de maximizar o lucro da venda de materiais recuperados. Existem diversas técnicas para a reciclagem de baterias lítio-íon, e processos de reciclagem diferentes que promovem resultados ambientais diferentes. Geralmente, os processos de reciclagem de baterias podem ser divididos em: processos mecânicos, pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. Uma combinação de vários tipos de processos de reciclagem pode ser implementada para que ocorra a recuperação de todos os materiais desejados (ORDOÑEZ; GAGO; GIRARD, 2016; AL-THYABAT et al., 2013; JHA et al., 2013; FERREIRA et al., 2009; HUANG; LI; XU, 2009; XU et al., 2008).

Não é possível reciclar resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos sem causar algum tipo de impacto ambiental (EPA, 2013; BERNARDES, 2005; HISCHIER; WÄGER; GAUGLHOFER, 2005). Entretanto, está confirmado que, em aspectos gerais, a reciclagem de baterias promove benefícios ambientais (BERNARDES; ESPINOSA; TENÓRIO, 2003). Dependendo dos processos utilizados, como os apresentados no Quadro 1, alguns efeitos prejudiciais diferentes ambientalmente podem acabar sendo provocados. Uma das principais desvantagens dos processos pirometalúrgicos é a sua associação direta com o controle de emissões atmosféricas altas, uma vez que as dioxinas e os compostos de cloreto de mercúrio podem ser gerados nesse processo (BERNARDES; ESPINOSA; TENÓRIO, 2004).

Quadro 1 - Comparação entre os processos de reciclagem.

Processo	Vantagens	Desvantagens
Mecânico	- A composição do material permanece a mesma	- Requisitos de alta energia - Perigo de explosão - Requer alimentação uniforme
Hidrometalúrgico	- Baixo consumo de energia - Alta recuperação e pureza - Emissões minimizadas	- Tratamento de gás requerido - Águas residuais produzidas - Sensível à entrada do processo
Pirometalúrgico	- Operações simples - Classificar muitas vezes não é necessário - Pode tomar qualquer entrada ou mix de entradas em alto volume	- O lítio não pode ser recuperado - Plástico / papel não recuperado - Requisitos de alta energia - Alto controle de emissões

Fonte: Modificado a partir de Gaines et al. (2011), Liew (2008), Vadenbo (2009) e Xu et al. (2008).

Lítio e compostos orgânicos não são reembolsáveis por processos pirometalúrgicos sozinho (AL-THYABAT et al., 2013). Isto é porque os materiais biológicos, tais como papel, plástico e o eletrólito da bateria são queimados, e lítio é sempre deixado na escória. Esta escória contém metais que, quando colocados em aterros, podem lixiviar ao ambiente (DEFRA, 2006). No entanto, ela pode ser tratada hidrometalurgicamente para recuperar materiais, tais como lítio.

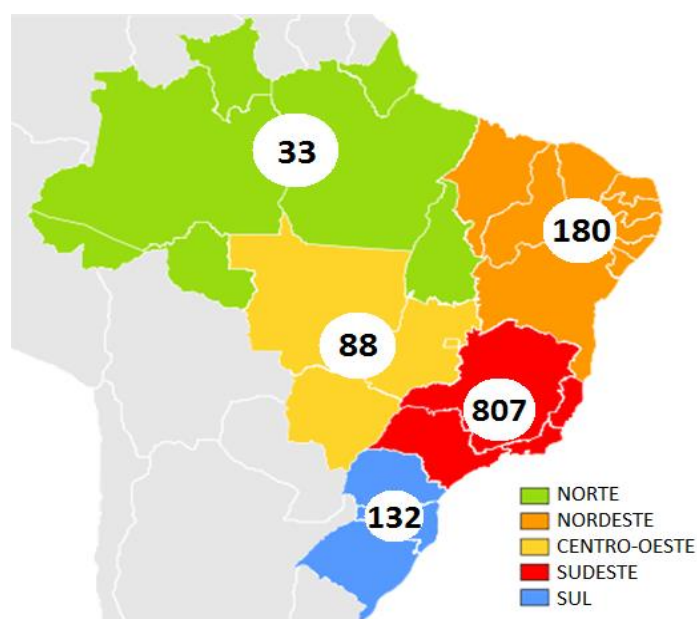
A UMICORE é um grupo global de tecnologia de materiais e reciclagem, com mais de 10.000 funcionários e possui na Suécia e na Bélgica um processo exclusivo (patenteado) de reciclagem de baterias denominado VAL'EAS®, este processo é pirometalúrgico e recupera apenas os metais, que após reciclados voltam ao ciclo industrial para a fabricação de novas baterias. A Umicore é a maior fornecedora de compostos de Níquel e Cobalto para baterias recarregáveis. O VAL'EAS® opera da seguinte maneira: não é necessário que as baterias sejam pré-processadas, elas são depositadas inteiras em um forno, onde são fundidas e a parte plástica é aproveitada como fonte de energia. Os gases gerados do processo passam por um forno de pós combustão onde são reduzidos a gases inertes e logo após, passam por um lavador para retirar eventuais impurezas. Da saída dos sólidos, os metais são separados e refinados e são utilizados como matéria-prima para produzir novas baterias e a escória é utilizada como

agregado para concreto (UMICORE, c2016a). A empresa possui várias indústrias no Brasil que trabalham com processo de reciclagem de *e-waste*, no entanto com relação as baterias íon-lítio as mesmas são enviadas para reciclagem em outros países.

No Brasil, a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), fundada em 1963 “é uma entidade civil que representa o complexo elétrico e eletrônico do Brasil. Sua missão é assegurar o desenvolvimento competitivo do setor, a defesa dos seus legítimos interesses e a integração à comunidade” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, [2013?]).

A ABINEE possui o programa Recebe Pilhas “é uma iniciativa conjunta de fabricantes e importadores de pilhas e baterias portáteis, que uniram esforços visando atender à Resolução CONAMA 401/2008” e se responsabilizam pelo pós-consumo das suas marcas de baterias e pilhas que introduziram no mercado, conforme dados apresentados na Figura 3. Esse projeto começou em novembro de 2010 com o intuito de recolher pilhas e baterias após o fim da sua vida útil, disponibilizando o sistema de logística reversa e destinação final. O resultado para que se tenha um bom desempenho do Programa depende das pessoas que consomem pilhas e baterias, para que elas não descartem esses objetos no lixo comum e sim no lugar onde adquiriu o produto ou em qualquer estabelecimento que possua postos de recebimento (PROGRAMA..., [2013]; NOGUEIRA, 2011).

Figura 3 - Total de postos de coleta do Programa Recebe Pilhas por região no Brasil.



Fonte: Modificado a partir de Programa... ([2013]).

O Programa Recebe Pilhas possui 1240 postos de coleta de pilhas e baterias distribuídos em todo o Brasil. Sendo que a região que mais possui postos de coleta é a Sudeste seguida logo após pela região Nordeste, já a região Norte é a que menos possui postos de coleta. A empresa contratada pelos fabricantes e importadores legais para a coleta das pilhas e baterias nos postos do Brasil inteiro é a GM&CLOG Logística e Transporte, empresa certificada, que cumpre todas as exigências para o transporte dos produtos sendo que em seguida, esses produtos passam por uma triagem onde as baterias são separadas por modelo e são encaminhadas para a única empresa que realiza a reciclagem no Brasil, a Suzaquim. As empresas participantes do projeto são responsáveis pelos custos do transporte desses materiais, assim como a destinação final (MENDES, 2013; PROGRAMA..., [2013]).

A Suzaquim localiza-se na cidade de Suzano - SP onde realiza o reprocessamento e a destinação final de pilhas, baterias, lixo tecnológico, resíduos industriais e materiais diversos para produzir sais e óxidos metálicos.

No site da empresa GM&CLOG, que realiza o transporte dos produtos é mostrado em tempo real o total de pilhas e baterias que foram recolhidas desde o início do projeto em novembro de 2010. O total recolhido até o dia 01 de novembro de 2016 as 00 horas e 35 minutos foi de aproximadamente 10.768 toneladas de pilhas e baterias. Dentre esses números, conforme informado pela empresa, são recolhidas de 5 a 6 toneladas de baterias por mês, porém não há dados precisos de quantas dessas baterias são de íon-lítio (PROGRAMA..., [2013]).

O processo realizado pela Suzaquim engloba os três princípios de reciclagem: processamento mecânico, hidrometalurgia e pirometalurgia. Os produtos obtidos, quando terminada a reciclagem são: sulfato de níquel, sulfeto de cádmio, sulfato de cádmio, carbonato e bicarbonato de sódio, carbonato de cobre, carbonato de níquel e óxidos de ferro.

Verificou-se através deste estudo que apesar de haver um início do processo de logística reversa das baterias íon-lítio no Brasil, o processo ainda está distante de atingir a excelência, muito ainda precisar ser feito para descentralizar a coleta e mesmo a forma de processamento dessas baterias visando a recuperação da matéria-prima e o menor impacto ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A logística reversa (LR) é uma das mais importantes ferramentas para o reprocessamento de baterias, pois quando descartadas corretamente se torna possível a proteção do meio ambiente bem como à saúde humana e além disso gerar subprodutos que servem como matérias-primas para outras indústrias. Essas matérias-primas obtidas podem ser reaproveitadas para a mesma finalidade, a de produzir novas baterias, dependendo do processo utilizado, e pode diminuir custos para as empresas gerando economia de energia elétrica, água e mão-de-obra pelo fato de utilizar matéria prima já tratada.

Dentre os processos, o que se destaca por menores impactos ambientais é o hidro metalúrgico, porém deve-se garantir que os efluentes gerados pelo processo sejam tratados, caso contrário, a reciclagem não faria sentido. A reciclagem se faz necessária pelo fato de que alguns componentes como o lítio e o cobalto, entres outros, não são abundantes, são fontes de matérias-primas não renováveis, tendo projeções da sua finitude para pouquíssimos anos caso novas fontes não sejam descobertas.

Para que todo esse sistema ocorra deve-se começar com a conscientização do consumidor, para que essas baterias possam ser reaproveitadas, é extremamente importante que as pessoas sejam alertadas e educadas a respeito do processo de reciclagem. Se torna evidente que a logística reversa é benéfica tanto para fins ambientais quanto para fins econômicos e legais.

Observa-se que o Estado outorga legislações, porém somente criar leis não é suficiente. Faz-se necessário criar articulações entre o próprio Estado, as empresas e o consumidor (sociedade organizada), pois estes são os principais atores do processo de logística reversa (LR). Parcerias entre o mercado, universidades e a sociedade devem ser incentivadas para promover a pesquisa fomentando o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem, educação e consciência ambiental.

REFERÊNCIAS

AEA TECHNOLOGY. **Review of the Future Resource Risks Faced by UK Business and an Assessment of Future Viability**. Carlsbad, CA, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/AGUSS/Downloads/EV0458_9917_FRP%20(2).pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.

ANATEL - AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Brasil fecha março de 2016 com 257,81 milhões de acessos móveis**. Brasília, DF, 2016. Disponível em:

<<http://www.anatel.gov.br/institucional/index.php/noticias/1112-brasil-fecha-marco-de-2016-com-257-81-milhoes-de-acessos-moveis>>. Acesso em: 1 nov. 2017.

AL-THYABAT, S. et al. Adaptation of minerals processing operations for lithium-ion (LiBs) and nickel metal hydride (NiMH) batteries recycling: critical review. **Minerals Engineering**, Oxford, GB, v. 45, p. 4-17, maio 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687513000022>>. Acesso em: 13 out. 2017.

ABINEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Institucional Abinee**. São Paulo, [2013?]. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/abinee.htm>>. Acesso em: 2 out. 2016.

_____. **Programa Abinee Recebe Pilhas**: mais de 400 toneladas em quase 3 anos. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com28.htm>>. Acesso em: 23 out. 2017.

AMTA - AUSTRALIAN MOBILE TELECOMMUNICATIONS ASSOCIATION. **Mobile Australia**: a report into how we use and recycle our mobiles. Australia, 2013. (Annual Report 2012-2013). Disponível em: <http://www.mobilemuster.com.au/media/39176/mobilemuster_annualreport_2013_lr.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

BERNARDES, A. M.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Collection and recycling of portable batteries: a worldwide overview compared to the Brazilian situation. **Journal of power sources**, Lausanne, Suíça, v. 124, n. 2, p. 586-592, nov. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775303008103>>. Acesso em: 27 set. 2017.

BERNARDES, A. M.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Recycling of batteries: a review of current processes and Technologies. **Journal of Power Sources**, Lausanne, Suíça, v. 130, n. 1-2, p. 291-298, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775303012230>>. Acesso em: 27 set. 2017.

BERNARDES, J. Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective: the environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 25, n. 5, p. 525-539, July 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019592550500048X>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 11, p. 3-9, maio 2000. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;

altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em 5 set. 2016. Publicado no Diário Oficial da União em: 3 ago. 2010.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999**. Estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequados. Brasília, DF, 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=257>>. Acesso em: 2 out. 2016. Publicado no Diário Oficial da União em: 22 jul. 1999.

CALL2RECYCLE. **North American Battery Recycling Reaches New Collection Heights**. Atlanta, 2016. Disponível em: <<http://www.call2recycle.org/north-american-battery-recycling-reaches-new-collection-heights/>>. Acesso em: 27 set. 2017.

DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS. **Defra Circular 01/2006**: Environmental Protection Act 1990: Part 2A: Contaminated Land. London, 2006. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69309/pb12112-circular01-2006-060817.pdf>. Acesso em: 14 out. 2017.

DEWULF, J. et al. Recycling rechargeable lithium ion batteries: critical analysis of natural resource savings. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL, v. 54, n. 4, p. 229-234, fev. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909001815>>. Acesso em: 2 out. 2017.

DORELLA, G.; MANSUR, M.B. A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues. **Journal of power sources**, Lausanne, Suíça, v.170, n. 1, p. 210–215, June 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775307007446>>. Acesso em: 28 out. 2017.

EBENSPERGER, A.; MAXWELL, P.; MOSCOSO, C. The lithium industry: its recent evolution and future prospects. **Resources policy**, Guildford, GB, v. 30, n. 3, p. 218-231, Sept. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420705000425>>. Acesso em: 2 out. 2017.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Application of Life Cycle Assessment to Nanoscale Technology**: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles. Washington, DC, 2013. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-01/documents/lithium_batteries_lca.pdf>. Acesso em: 27 out. 2017.

EPBA - EUROPEAN PORTABLE BATTERY ASSOCIATION. **EPBA Initiatives**: recent achievements. Brussels, c2016. Disponível em: <<http://www.epbaeurope.net/epbainit.html>>. Acesso em: 5 set. 2017.

FERREIRA, D. A. et al. Hydrometallurgical separation of aluminium, cobalt, copper and lithium from spent Li-ion batteries. **Journal of Power Sources**, Lausanne, Suíça, v. 187, n. 1, p. 238–246, Feb. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775308019964>>. Acesso em: 14 set. 2017.

FISHER, K. et al. **Battery waste management life cycle assessment**: final report for publication. United States: Environmental Resources Management, 2006. Disponível em: <http://www.epbaeurope.net/090607_2006_Oct.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

FORZA, C. Survey Research in Operations Management: a Process-based Perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, No. 2, p. 152-194, 2002.

GAINES, L. et al. **Life-Cycle Analysis for Lithium-Ion Battery Production and Recycling**. Washington, DC: Argonne National Laboratory, 2011. (Paper no. 11-3891). Disponível em: <<https://www.anl.gov/energy-systems/publication/life-cycle-analysis-lithium-ion-battery-production-and-recycling>>. Acesso em: 28 out. 2017.

GAINES, L. The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. **Sustainable Materials and Technologies**, USA, v. 1-2, p. 2-7, dec. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993714000037>>. Acesso em: 23 set. 2017.

GEORGI-MASCHLER, T. et al. Development of a recycling process for Li-ion batteries. **Journal of power sources**, Lausanne, Suíça, v. 207, p. 173-182, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775312002984>>. Acesso em: 25 out. 2017.

HABASHI, F. **Handbook of Extractive Metallurgy**. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 1997. v. 4. Disponível em: <http://dliia.ir/Scientific/e_book/Technology/Mining_Engineering_Metallurgy/TN_600_799_Metallurgy_/023810.pdf>. Acesso em: 28 out. 2017.

HISCHIER, R.; WÄGER, P.; GAUGLHOFER, J. Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective: the environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 25, n. 5, p. 525-539, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019592550500048X>>. Acesso em: 2 out. 2017.

HUANG, K.; LI, J.; XU, Z. A novel process for recovering valuable metals from waste nickel-cadmium batteries. **Environmental science & technology**, Washington DC, v. 43, n. 23, p. 8974-8978, 2009. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19943675>>. Acesso em: 13 out. 2017.

IATA - INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Lithium Battery Guidance Document**. Quebec, Canada, 2013. Disponível em:

<<http://www.grupoibrace-icbr.org.br/wp-content/uploads/2016/06/IATA-Lithium-Battery-Guidance-2013-V1.1.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

JHA, M. K. et al. Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries of mobile phone. **Waste Management**, New York, v. 33, n. 9, p. 1890-1897, Sept. 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13002171>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

JÚNIOR, E. **UIT diz que número de celulares no mundo passou dos 7 bilhões em 2015**. Nova York: Rádio ONU, 2015. Disponível em:

<<http://www.unmultimedia.org/radio/portuguese/2015/05/uit-diz-que-numero-de-celulares-no-mundo-passou-dos-7-bilhoes-em-2015/#.WBip9dIrLIV>>. Acesso em: 6 nov. 2017.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEWIS, H. Battery waste and recycling. **Issues Magazine**, Australia, n. 92, set. 2010. Disponível em: <<http://www.issuesmagazine.com.au/article/issue-september-2010/battery-waste-and-recycling.html>>. Acesso em: 12 set. 2016.

LIEW, F.C. Pyrometallurgy Versus Hydrometallurgy. **pt.scribd.com**, 2008. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/138931506/TES-AMM-Analysis-Pyrometallurgy-vs-Hydrometallurgy-April-2008>>. Acesso em: 12 set. 2016

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, c2002. Disponível em: <http://www.etf.unssa.rs.ba/~slubura/diplomski_radovi/Zavrzni_rad_MarkoSilj/Literatura/Handbook%20Of%20Batteries%203rd%20Edition.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india>. Acesso em: 20 out. 2016.

MARIS, T. **A Convenção da Basiléia e o desafio global dos resíduos perigosos**. 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado em Economia do Meio Ambiente) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp106391.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2016.

MENDES, H. M. R.; RUIZ, M. S.; FARIA, A. C. de. Programa Abinee Recebe Pilhas (PARP): a implantação e estágio atual da logística reversa de pilhas e baterias. In: Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 17, 2015, São Paulo: FEA/USP, 2015. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/175.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2016.

NOGUEIRA, P. S. **Logística reversa**: a gestão do lixo eletrônico em São José dos Campos. 2011. 54 f. Monografia (Especialização em Gestão Pública Municipal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1191/1/CT_GPM_I_2011_62.PDF>. Acesso em: 2 out. 2017.

O'FARRELL, K.; VEIT, R.; A'VARD, D. **Study into market share and stocks and flows of handheld batteries in Australia**: trend analysis and market assessment report. Australia: Sustainable Resource Use Pty Ltd; National Environment Protection Council, 2014. Disponível em: <<http://www.batteryrecycling.org.au/wp-content/uploads/2014/07/Stocks-and-flows-of-handheld-batteries-report-final.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2017.

ORDOÑEZ, J.; GAGO, E. J.; GIRARD, A. Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Colorado, USA, v. 60, p. 195-205, July 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116001623>>. Acesso em: 20 out. 2016.

PARLAMENTO EUROPEU. JO L 266 de 26.9.2006, p. 1. Diretiva com a última redação, dada pela Diretiva 2008/103/CE (JO L 327 de 5.12.2008, p. 7).

PEIXOTO, E. M. A. Lítio. **Química nova na escola**, São Paulo, n. 2, nov. 1995. (Elemento Químico). Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc02/elemento.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2016.

PEREIRA, A. L. et al. **Logística reversa e sustentabilidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

PROGRAMA Abinee Recebe Pilhas. **gmcons.com.br**, [2013]. Disponível em: <<http://www.gmcons.com.br/gmclog/admin/VisualizarPostosMapaCliente.aspx>>. Acesso em: 2 out. 2016.

ROBINSON, B. H. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. **Science of the total environment**, Amsterdam, NL, v. 408, n. 2, p. 183-191, Dec. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709009073>>. Acesso em: 28 out. 2016.

SCHWARZER, S. et al. **E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use**. Nairobi, Kenya: UNEP, 2005. (Environment Alert Bulletin, 5). Disponível em: <http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_ewaste.en.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2016.

SONOC, A.; JESWIET, J. A Review of Lithium Supply and Demand and a Preliminary Investigation of a Room Temperature Method to Recycle Lithium Ion Batteries to Recover Lithium and Other Materials. **Procedia CIRP**, Paris, v. 15, p. 289-293, jun. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004296>>. Acesso em: 23 out. 2016.

THE GREEN commodity. **Globalxfunds.com**, [2015?]. Disponível em: <<https://www.globalxfunds.com/content/files/LIT-IC-10may16.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.

UMICORE. **Processo VAL'EAS**. Guarulhos, c2016b. Disponível em: <<http://www.umicore.com.br/Reciclagem/valeas.htm>>. Acesso em: 27 set. 2016.

_____. **Reciclagem de baterias recarregáveis**. Guarulhos, c2016a. Disponível em: <<http://www.umicore.com.br/nossosNegocios/recycling/pmr/baterias/>>. Acesso em: 27 set. 2016a.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2016**. Virginia, 2016. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2016.

USGS MINERAL COMMODITY SPECIALIST. **Lithium**: statistics and information. United States, 2016. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/>>. Acesso em: 2 out. 2016.

VADENBO, C. O. Prospective Environmental Assessment of Lithium Recovery in Battery Recycling. **uns.ethz.ch**, 2009. Disponível em: <<http://www.uns.ethz.ch/pub/publications/pdf/1717.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

VILLAS, M. V., MACEDO-SOARES, T. D. L. VAN A. DE, & RUSSO, G. M. Bibliographical Research Method for Business Administration Studies: a Model Based on Scientific Journal Ranking. *BAR. Brazilian Administration Review*, 5(2), 139–159, 2008.

XU, J. et al. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. **Journal of power sources**, Lausanne, Suíça, v. 177, n. 2, p. 512–527, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775307026195>>. Acesso em: 2 out. 2016.