

## PROCESSAMENTO DA PASTA ELETROLÍTICA DE PILHAS USADAS

Júlio Carlos Afonso\*, Ana Paula Mauro Gonçalves Barandas, Gustavo Alves Pinto da Silva e Sandro Guimarães da Fonseca

Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CP 68563, 21949-900 Rio de Janeiro - RJ

Recebido em 29/4/02; aceite em 5/12/02

PROCESSING OF THE SPENT BATTERY ELECTROLYTES. This work presents a basic study on the processing of spent Zn/MnO<sub>2</sub> and alkaline batteries in acid or basic media. Promising results were obtained after fusion with NaOH or KHSO<sub>4</sub>, which allowed a good separation between Mn from Zn and these metals from other metal components. Processing of spent batteries is a complex procedure, which includes disassembly of these materials, the use of corrosive and high-energy consuming media and the management of final residues.

Keywords: spent batteries; fusion; environment.

### INTRODUÇÃO

Uma pilha é um dispositivo eletroquímico que tem a capacidade de converter energia química em energia elétrica. As pilhas apresentam um anodo (eletrodo negativo), o catodo (eletrodo positivo) e a pasta eletrolítica, onde ocorrem as reações químicas que geram a corrente elétrica. As pilhas estão definitivamente presentes no dia-a-dia do homem moderno, e são amplamente usadas em aparelhos como rádios, televisores, brinquedos, câmeras, relógios, calculadoras, telefones e computadores.

No Brasil, o consumo *per capita* fica em torno de 5 pilhas/ano<sup>1</sup>, enquanto que no primeiro mundo o nível chega a 15 pilhas/ano<sup>1</sup>. Isto implica, levando-se em conta a população mundial, num consumo da ordem de 10 bilhões de pilhas/ano. No ano de 1999 foram produzidas mais de 800 milhões de pilhas no Brasil<sup>2</sup>, e até então já existiam 14 milhões de telefones celulares em circulação em todo o país. Além disso, ainda existem as pilhas e baterias contrabandeadas, cuja participação no mercado é impossível de ser prevista<sup>3</sup>. Só em São Paulo, são descartadas 152 milhões de pilhas comuns e 40 milhões de alcalinas por ano<sup>4</sup>. No período de 1990 a 1996 o mercado consumidor mundial de baterias e pilhas cresceu de 23 bilhões de dólares para 33 bilhões<sup>5</sup>.

As pilhas (bem como as baterias) portáteis podem ser classificadas, segundo a tecnologia usada na geração de corrente elétrica, em oito tipos mais comuns para uso doméstico: zinco/MnO<sub>2</sub>, "heavy duty" (zinco/cloreto), alcalina, mercúrio/zinco (Hg/Zn), zinco/ar (Zn/ar), zinco/prata (Zn/Ag), lítio e níquel/cádmio (NiCd). Esta última é recarregável, sendo classificada como pilha secundária. As demais são denominadas pilhas primárias – de uso único<sup>6</sup>. As pilhas zinco/MnO<sub>2</sub> são as mais baratas do mercado e descarregam mais rapidamente, especialmente se utilizadas continuamente. Já as alcalinas possuem um tempo de vida útil até dez vezes maior que as pilhas de Zn/MnO<sub>2</sub>, mas também são até cinco vezes mais caras.

Atualmente, depois de usadas, as pilhas domésticas são basicamente descartadas no lixo urbano e são encaminhadas aos aterros sanitários, às usinas de compostagem ou às usinas incineradoras. O descarte de pilhas no lixo doméstico é um fato extremamente grave.

Com o passar do tempo, ocorrerá inevitavelmente a contaminação de plantas, solos e lençóis freáticos devido à corrosão da blindagem da pilha disposta em aterros sanitários e lixões. O principal fato é a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, que é função da construção dos aterros, da localização e de sua proximidade com os lençóis freáticos. Introduzidos no meio aquático, por lixiviação dos aterros e lixões e dos gases de incineração, os metais presentes nas pilhas são considerados sérios poluentes ambientais, devido à propriedade de bioacumulação através da cadeia alimentar, e aos seus efeitos tóxicos no organismo humano e de outros animais, conforme descrito na literatura<sup>7</sup>.

O entendimento quanto à evolução dos metais no meio ambiente, causado por pilhas e baterias dispostas nos aterros, é função das condições das mesmas no momento do descarte e das condições dos próprios aterros. O invólucro das pilhas é, comumente, feito de plástico, papel e metal. As várias condições podem desenvolver efeitos diferentes nos aterros de acordo com a velocidade de degradação ou decomposição dos invólucros. Um estudo feito na Inglaterra<sup>7</sup>, em 1978, indicou que as condições que afetam a velocidade de degradação da pilha são: a natureza do invólucro, o grau da carga elétrica residual deixada na pilha, o período de tempo e a quantidade de oxigênio presente no aterro. A mobilidade dos metais e a contaminação das águas subterrâneas são controladas por inúmeros fatores, que incluem o projeto, a construção, a operação, a manutenção e a conservação dos aterros.

A reciclagem apresenta-se, então, como uma solução para esta questão ambiental. O processamento de pilhas e de baterias usadas existe, pelo menos, desde o início do século XX. Entretanto, os incentivos mudam com o passar dos anos. No início, a reciclagem e a recuperação de materiais foi a possibilidade para que cada indústria mantivesse o fornecimento de matéria-prima a um custo razoável, inclusive nos períodos de escassez. Hoje em dia, a principal razão para a reciclagem, ou o tratamento final, é a proteção do meio ambiente. Os aterros sanitários e a incineração estão sujeitos a diversas restrições de vários regulamentos. A reciclagem é a maneira de reduzir os custos, necessariamente, dos resíduos de materiais descartados.

Hoje em dia já existem algumas indústrias que recolhem suas pilhas e baterias usadas devido a pressões políticas e a novas legislações ambientais que regulamentam a destinação de pilhas e baterias em diversos países do mundo. No Estado do Rio de Janeiro foi sancionada a Lei 3.415<sup>8</sup>, regulamentando o serviço de coleta e descarte

\*e-mail: julio@iq.ufrj.br

final para pilhas e baterias (equiparando pilhas e baterias a lixo químico). O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) baixou resoluções sobre o assunto<sup>9,10</sup>. Na Europa existe uma portaria<sup>11</sup> relativa às pilhas e acumuladores contendo chumbo e cádmio<sup>11-13</sup>. Ela menciona que a coleta separada e a reciclagem desses materiais usados podem contribuir para evitar a utilização desnecessária de matérias-primas. A partir de um método desenvolvido pelos japoneses, os suíços formaram a primeira unidade mundial para a reciclagem em escala comercial de pilhas usadas de uso doméstico. Um decreto aprovado pelo governo em 1986, classificando as pilhas secas como rejeito especial para o qual não havia locais adequados de descarte na Suíça e outro, de 1989, que obriga os varejistas a receber de volta as pilhas usadas, impulsionou pesquisas para se encontrar um processo ecologicamente correto de coleta e de reciclagem<sup>4</sup>. Os processos de reciclagem de pilhas e baterias podem seguir três linhas distintas: a baseada em operações de tratamento de minérios, a hidrometalúrgica ou a pirometalúrgica<sup>14-21</sup>. Algumas vezes, estes processos são específicos para a reciclagem de pilhas, outras vezes, elas são recicladas juntamente com outros tipos de materiais.

Outro tipo de processamento de pilhas zinco/MnO<sub>2</sub> e alcalinas é a destruição em atmosfera de nitrogênio. Ocorre a conversão dos metais em materiais que possam ser reutilizados ou descartados sem causar nenhum dano ao meio ambiente. Nesse tratamento os compostos voláteis tais como água, produtos orgânicos e mercúrio são separados da fração metálica, concentrados, separados, tratados e levados a um destino final. O resíduo sólido é fatiado, peneirado e separado em três partes: a fração sem ferro metálico, a fração não metálica contendo carbono e a fração de óxidos metálicos. Um novo tratamento térmico é feito na fração com óxidos metálicos para que a concentração de mercúrio fique abaixo de 20 ppm<sup>22,23</sup>.

Apesar da apresentação a nível superficial, pode-se perceber que a tarefa de reciclar pilhas e baterias é extremamente difícil devido à natureza multicomponente das mesmas. Os tratamentos propostos são, na sua grande maioria, consumidores de energia e apresentam elevada corrosividade. Há também uma forte menção ao uso de meios alcalinos (fusão alcalina, solução amoniacal, solução de base forte). Pela análise das referências disponíveis<sup>14-21</sup>, isto parece ser devido à maior facilidade de recuperação do manganês e do zinco neste meio. Este trabalho visou ser um estudo fundamental sobre o processamento de tais materiais, enfocando desde o problema do reconhecimento dos diversos componentes até a questão central, que é o processamento da pasta eletrolítica.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Matérias-primas

Foram utilizadas pilhas Zn/MnO<sub>2</sub> e alcalinas do tipo "AA", fabricadas entre 1999 e 2001, de quatro diferentes fornecedores. Inicialmente foi feito o desmonte manual das pilhas, visando a separação de seus componentes: o invólucro externo (papelão e plástico, blindagem e copo de zinco), a pasta eletrolítica e o catodo. Todos os componentes foram pesados em balança analítica.

### Procedimento - abertura das pilhas e tratamento da pasta eletrolítica por fusão com NaOH

Após a pesagem da pasta eletrolítica, calculou-se a quantidade de NaOH a ser usada com um excesso de 50% p/p, considerando que na pasta eletrolítica estivesse presente 50% de óxido de zinco e 50% de óxido de manganês. Deste modo, empregou-se uma média de 1,6 g de NaOH/g de pasta eletrolítica. A fusão foi conduzida em mufla a 600 °C por 5 h. Após a fusão, dissolveram-se os sólidos em

água destilada, à temperatura ambiente, mantendo o pH em torno de 14 (cerca de 600 mL de água para cada pasta eletrolítica tratada). Procedeu-se à filtração (em cadinho filtrante de vidro sinterizado sob sucção) para a separação do resíduo insolúvel, que foi lavado com NaOH (6 mol L<sup>-1</sup>) até resultado negativo para zinco e manganês (ensaios por via úmida)<sup>24</sup>. No filtrado adicionou-se, gota a gota, um agente redutor, o SO<sub>2</sub>, (solução aquosa a 6% p/p) ou Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1 mol L<sup>-1</sup>), até o descolorimento total da solução, à temperatura ambiente com agitação ocasional. O precipitado de MnO<sub>2</sub>, após lavagem abundante com NaOH (até eliminação do zinco), seguido de água (até pH neutro e ausência de Na<sup>+</sup>), foi seco em estufa a 150 °C por 1 h. A seguir, o zinco em solução e nas águas de lavagem do MnO<sub>2</sub> foi precipitado na forma de hidróxido de zinco, ajustando o pH até 7-8 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O precipitado de Zn(OH)<sub>2</sub> foi filtrado e lavado com água até que os líquidos de lavagem não apresentassem mais íons Na<sup>+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, sendo a seguir seco em estufa a 150 °C por 1 h, e depois pesado como ZnO. O efluente final foi neutralizado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, obtendo-se um líquido incolor e sem precipitado.

### Procedimento - abertura das pilhas e tratamento da pasta eletrolítica por fusão com KHSO<sub>4</sub>

Neste caso, empregou-se 4 g de KHSO<sub>4</sub>/g de pasta eletrolítica. A fusão foi conduzida em mufla a 600 °C por 5 h. O processamento da pasta eletrolítica de pilhas Zn/MnO<sub>2</sub> exige um comentário adicional: devido à presença do carbono, há tendência de ocorrer uma redução parcial de sulfato a sulfeto à temperatura de fusão, o que levaria à formação dos sulfetos ZnS e MnS, insolúveis em água (isso foi facilmente constatado pelo aspecto róseo - devido ao MnS - da massa fundida resfriada). Para contornar essa dificuldade, foi necessário admitir um contínuo acesso de ar a fim de reoxidar o sulfeto eventualmente formado. Após a fusão, dissolveram-se os sólidos em água destilada a 80 °C, até a dissolução da massa fundida (400 mL de água para cada pasta eletrolítica processada). Procedeu-se à filtração do resíduo (em papel de filtro comum) e à lavagem do mesmo até resultado negativo para manganês e zinco nas águas de lavagem. O filtrado (mais as águas de lavagem), incolor, tinha pH na faixa de 4-5, compatível com soluções de ZnSO<sub>4</sub> e de MnSO<sub>4</sub>. Esta solução foi lentamente vertida para um béquer contendo NaOH de modo que, após a mistura, o pH se mantivesse em torno de 14; desse modo, obtinha-se a precipitação do manganês como MnO<sub>2</sub> deixando o zinco em solução como hidroxicomplexo. Este último foi precipitado na forma de hidróxido, por ajuste do pH até 7-8 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Os precipitados obtidos sofreram os mesmos tratamentos aplicados ao procedimento da fusão com NaOH. O efluente final foi neutralizado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, obtendo-se um líquido incolor e sem precipitado.

### Métodos analíticos

Empregou-se a espectroscopia de absorção atômica para a análise de manganês, mercúrio e zinco. Em paralelo, foram feitos testes qualitativos<sup>24</sup> para controlar a presença ou não do zinco e do manganês, tanto nos precipitados quanto no filtrado final. O mercúrio também foi monitorado por meio de um teste qualitativo, que é a reação com a difenilcarbazida em HCl, onde surge uma cor vermelha na presença do referido elemento<sup>24</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Composição das pilhas

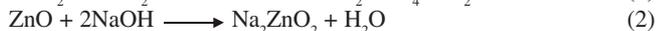
A Tabela 1 mostra os dados para todas as pilhas utilizadas neste trabalho. A manipulação da pasta eletrolítica das pilhas Zn/MnO<sub>2</sub>

mostrou-se difícil devido à sua natureza untuosa, o que levava a perdas no momento de sua manipulação.

A pasta eletrolítica representa, na média, cerca da metade do peso total para as pilhas Zn/MnO<sub>2</sub>, fato que não acontece nas pilhas alcalinas, principalmente devido à maior quantidade de invólucro externo (blindagem) nestes casos.

### Recuperação do zinco e do manganês após a fusão da pasta eletrolítica com NaOH

Nesta fusão, as seguintes reações ocorrem para os elementos principais da pasta eletrolítica:



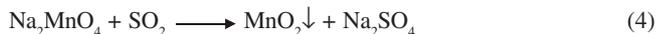
O sal Na<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> (manganato de sódio) é um sólido verde quase preto, solúvel em água, dando uma solução verde-escura, estável em pH acima de 13. Nesta mesma faixa de pH, o zinco sofre a seguinte reação:



que é um composto incolor, solúvel.

O resíduo insolúvel da fusão foi totalmente dissolvido em HCl concentrado a 60 °C. Na solução após resfriamento identificou-se<sup>24</sup> ferro, mercúrio, níquel e chumbo; não se detectou zinco e manganês. Este resíduo corresponde, em média, a 4% p/p da massa inicial da pasta eletrolítica utilizada.

No momento da etapa de redução, tem-se as seguintes reações:

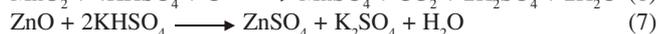


A idéia original era decompor o manganato totalmente a MnO<sub>2</sub>, dada a instabilidade do manganato e do permanganato em meio alcalino sob aquecimento. A conversão manganato a permanganato

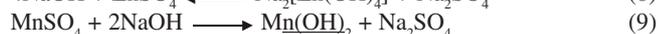
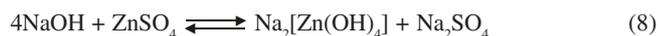
foi, de fato, bastante rápida, mas a conversão do permanganato a MnO<sub>2</sub> mostrou-se demasiado lenta. Por isso, foi necessário o uso de um redutor para abreviar o processo; a reação ocorreu rapidamente à temperatura do laboratório.

### Recuperação do zinco e do manganês após a fusão da pasta eletrolítica com KHSO<sub>4</sub>

Neste caso, sugerem-se as seguintes reações para os elementos principais da pasta eletrolítica:



Os sulfatos acima são todos solúveis em água, fornecendo uma solução incolor, com pH ácido devido à hidrólise dos cátions Mn<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup>. Após verter em solução de NaOH, ocorrem as seguintes reações:



O resíduo insolúvel da fusão foi quantitativamente dissolvido em HCl concentrado a 60 °C. Na solução após resfriamento identificou-se<sup>24</sup> ferro, mercúrio, níquel e chumbo; não se detectou zinco e manganês. Este resíduo corresponde, em média, a 3% p/p da massa inicial da pasta eletrolítica utilizada.

### Análise dos produtos finais obtidos

As Tabelas 2 a 4 mostram os resultados para os elementos zinco e manganês nos precipitados e no efluente final. Os resultados refletem uma média de 3 experimentos realizados para cada pilha com cada agente fundente.

Os resultados enfatizam a necessidade de uma lavagem bem cuidadosa, particularmente quando a massa de MnO<sub>2</sub> obtida é grande (caso das pilhas alcalinas), para a remoção do zinco. Observa-se também uma perfeita compatibilidade entre os resultados obtidos nas duas fusões.

**Tabela 1.** Composição aproximada das pilhas comerciais estudadas

Características das pilhas		% dos componentes da pilha (p/p)			
Tipo de pilha	identificação	Invólucro	Pasta eletrolítica	Catodo	Perda na abertura
Zn/MnO <sub>2</sub>	I	44,2	49,1	5,6	1,1
Zn/MnO <sub>2</sub>	II	40,6	50,9	5,9	2,6
Alcalina	III	52,2	45,3	2,5	~ 0
Alcalina	IV	54,9	42,7	2,4	~ 0

**Tabela 2.** Pureza média do MnO<sub>2</sub> isolado após as fusões das pastas eletrolíticas

Pilha	Agente fundente	Massa total de MnO <sub>2</sub> (g)	% p/p de Mn	% p/p de Zn
Zn/MnO <sub>2</sub> I	NaOH	5,3	99,7	0,3
	KHSO <sub>4</sub>	5,5	> 99,9	< 0,1
Zn/MnO <sub>2</sub> II	NaOH	4,1	98,7	1,3
	KHSO <sub>4</sub>	3,9	99,7	0,3
Alcalina III	NaOH	13,6	98,9	1,1
	KHSO <sub>4</sub>	13,2	99,0	1,0
Alcalina IV	NaOH	11,6	99,7	0,3
	KHSO <sub>4</sub>	11,9	99,5	0,5

Os resultados podem ser considerados bastante satisfatórios e totalmente equivalentes para os dois tipos de fusão realizados.

Apesar de uma certa flutuação quanto aos teores finais, particularmente do zinco, percebe-se que, frente às massas de  $MnO_2$  e de  $ZnO$  isoladas, o teor de metais no efluente final é inferior a 1% p/p do total dos mesmos.

Ao confrontarmos as massas obtidas dos óxidos de manganês e de zinco frente à pasta eletrolítica global (Tabela 5), nota-se que o percentual (p/p) desses elementos é razoavelmente constante e independe (aparentemente) do tipo de pilha considerada. Os teores de zinco achados para as pastas eletrolíticas estão em conformidade com os dados da literatura<sup>22,23</sup>, mas os de manganês superam os dados existentes, o que pode ser, talvez, explicado pela mudança de tecnologia de manufatura das pastas eletrolíticas das pilhas mais modernas.

### Comportamento do mercúrio

Apesar de funcionar como um “dopante” muito bom, pois aumenta a descarga inicial quando do uso de uma pilha, os problemas ambientais associados a este elemento são mais que evidentes, mesmo que em baixas concentrações (< 0,1% p/p). Tanto é que a tendência das modernas tecnologias é suprimir o mercúrio ou reduzi-lo a

níveis inferiores a 0,025% p/p (250 ppm).

A incineração ou aquecimento a altas temperaturas de pilhas ou baterias contendo mercúrio é desaconselhada porque podem ocorrer reações de oxi-redução que levam, pelo menos, parte do mercúrio a metal. Mesmo com a condensação dos efluentes gasosos de saída, a pressão de vapor de mercúrio à temperatura ambiente ( $0,005 \text{ mg m}^{-3}$ )<sup>25</sup> é superior ao valor limite máximo de exposição tolerável ao ser humano. Por este motivo, as fusões das pastas eletrolíticas foram feitas em mufla isolada do meio laboratorial com amplo acesso de circulação externa de ar.

A análise do mercúrio baseada nos ensaios por via úmida<sup>24</sup> na solução obtida após dissolução (em ácido clorídrico) dos resíduos da fusões indicou a presença do elemento. Respeitado o volume total de solução e a massa inicial da pasta eletrolítica tratada percebeu-se que, qualitativamente, havia mais ou menos a mesma quantidade de mercúrio nos resíduos para cada tipo de pilha processada, e mais nas pilhas alcalinas que nas de zinco/ $MnO_2$ . Os dados de absorção atômica de mercúrio confirmam a abordagem qualitativa acima. A concentração de mercúrio na solução ácida após tratamento do resíduo insolúvel chegou a teores médios de 460 ppm ( $Zn/MnO_2$ ) e 750 ppm (alcalina). A literatura já mostrou a existência de mercúrio nas pilhas comuns (pelo menos as fabricadas até 2000), com teores na faixa 850-1000 ppm ( $Zn/MnO_2$ ) e 1200-2600 ppm (alcalinas)<sup>23,26</sup>.

**Tabela 3.** Pureza média do  $ZnO$  isolado após as fusões das pastas eletrolíticas

Pilha	Agente fundente	Massa total de $ZnO$ (g)	% p/p de Zn	% p/p de Mn
$Zn/MnO_2$ I	NaOH	1,5	99,0	1,0
	$KHSO_4$	1,5	99,5	0,5
$Zn/MnO_2$ II	NaOH	1,1	99,8	0,2
	$KHSO_4$	1,0	99,8	0,2
Alcalina III	NaOH	3,0	99,1	0,9
	$KHSO_4$	3,2	99,6	0,4
Alcalina IV	NaOH	2,8	99,4	0,6
	$KHSO_4$	3,0	99,6	0,4

**Tabela 4.** Presença de manganês e de zinco no resíduo final total neutralizado

Pilha	Agente fundente	Volume total (mL)	Zn total em solução (mg)	Mn total em solução (mg)
$Zn/MnO_2$ I	NaOH	885	0,4	0,1
	$KHSO_4$	600	1,9	< 0,1
$Zn/MnO_2$ II	NaOH	910	2,9	0,4
	$KHSO_4$	590	1,9	0,1
Alcalina III	NaOH	785	8,5	0,7
	$KHSO_4$	625	1,5	0,2
Alcalina IV	NaOH	795	4,5	0,1
	$KHSO_4$	595	2,5	< 0,1

**Tabela 5.** Balanço total do manganês e do zinco na pasta eletrolítica

Pilhas	P.E.* total antes da fusão (g)	Massa total de Mn na P.E. (g)**	Massa total de Zn na P.E. (g)**	% p/p de Mn na P.E.	% p/p de Zn na P.E.
$Zn/MnO_2$ I	8,05	3,4	1,2	42,2	14,9
$Zn/MnO_2$ II	5,42	2,5	0,8	46,1	14,8
Alcalina III	15,62	8,5	2,5	54,4	16,0
Alcalina IV	16,65	7,4	2,3	44,4	13,8

\* P.E. – Pasta Eletrolítica; \*\* - obtida a partir da média das massas de  $MnO_2$  (ou de  $ZnO$ ) obtidas após as fusões.

A despeito desta abordagem superficial, percebe-se facilmente que os procedimentos de fusão só devem ser aplicados a pilhas sem mercúrio ou com níveis que permitam uma manipulação segura da pasta eletrolítica, situação esta que se espera que ocorra nas pilhas de última geração, daqui para diante.

## CONCLUSÕES

O processamento de pilhas e de baterias usadas com vistas à reciclagem de componentes é uma tarefa muito complexa do ponto de vista experimental. O primeiro problema que se coloca é o desmonte desses materiais. O que se tem de concreto é o desmonte mecânico por trituração e posterior separação mecânica da pasta eletrolítica<sup>26</sup>.

O tratamento de fusão permitiu o processamento diferenciado dos componentes principais da pasta eletrolítica: o manganês e o zinco. Mesmo assim, este processo não está isento de inconvenientes: a possibilidade de liberação parcial do mercúrio no momento da fusão a alta temperatura, a corrosividade do meio obtido após a dissolução da massa fundida, a exaustiva etapa de lavagem dos precipitados de MnO<sub>2</sub> e ZnO e o processamento da borra residual contendo os demais elementos.

De modo geral, parece inevitável a necessidade de uma etapa envolvendo um alto consumo energético dentro da perspectiva de reciclar a pasta eletrolítica. Este fato, associado à dificuldade de desmonte e implementação de uma coleta seletiva eficaz dificulta, na atualidade, a reciclagem das pilhas e de baterias como um processo economicamente viável. De qualquer modo, trabalhos com este estimulam as pesquisas na área do processamento e do aproveitamento de pilhas e baterias usadas, visto que o descarte em aterros, mesmo os apropriados para a classe I (perigosos), nada mais é do que adiar o problema ambiental que representam para o futuro.

A pilha é um típico exemplo de produto tecnológico desenvolvido para proporcionar conforto e bem-estar à nossa civilização, mas que não levou em conta o período após seu consumo, isto é, o que fazer com ela a partir deste momento. Assim, por falta de uma conscientização coletiva ambiental e ignorando os riscos inerentes, as pilhas foram, ao longo de décadas, descartadas no meio ambiente como um lixo qualquer. Agora que existe uma clara preocupação ambiental é de se esperar que não somente se faça uma coleta seletiva e um destino final seguro, mas principalmente, se desenvolvam novas tecnologias de pilhas que sejam compatíveis com um meio ambiente mais saudável para a humanidade.

## AGRADECIMENTOS

S. G. da Fonseca e G. A. P. da Silva agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ) a concessão de bols

as do programa Jovens Talentos Para a Ciência. A. P. M. G. Barandas agradece à FAPERJ e à CAPES a concessão de bolsa de Mestrado.

À Fundação Universitária José Bonifácio (FUJB) e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

1. *Reciclagem de Pilhas Secas*, Relatório Interno do Centro de Tecnologia Mineral/CNPq, Rio de Janeiro, 1999.
2. *Questão*, **2000**, 3, 12.
3. Scharf, R.; *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 01 de março de 2000.
4. [http://www.minc.com.br/mandato/meio\\_ambiente/pilhas\\_dossie.htm](http://www.minc.com.br/mandato/meio_ambiente/pilhas_dossie.htm), acessada em Junho 2001.
5. <http://www.huret.com/statusandimprovementsinrechargeables.html>, acessada em Junho 2001.
6. Brady, J. E.; *General Chemistry Principles and Structure*, 5ª ed., John Wiley & Sons: New York, 1982, cap. 18.
7. *Guia para Coleta Seletiva de Pilhas e Baterias*, FIRJAN/CIRJ/SESI/SENAI/IEL, minuta 27/07/2000.
8. Lei Nº 3415, de 29/05/2000, *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, 09/06/2000.
9. Resolução Nº 257 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 30/06/1999, *Diário Oficial da União*, 22/07/1999.
10. Resolução Nº 263 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 12/11/1999, *Diário Oficial da União*, 22/12/1999.
11. *Jornal Oficial da Comunidade Européia*, 26/03/1991, L078, 38-41.
12. *Jornal Oficial da Comunidade Européia*, 25/02/1998, L067, 48-50.
13. *Jornal Oficial da Comunidade Européia*, 23/10/1993, L264, 51-52.
14. Frenay, J.; Feron, S.; *Second International Symposium in Recycling of Metals and Engineered Materials*, The Minerals, Metals & Materials Society: Warrendale, 1990, p. 639.
15. Frenay, J.; Ancia, P. H.; Preschia, M.; *Second International Conference on Recycling of Metals*, The American Society for Metals: New York, 1994, p. 13.
16. <http://www.nec.co.jp/english/profile/kan/annual/product/lca.html>, acessada em Junho 2001.
17. <http://www.nec.co.jp/english/profile/kan/annual/product/recycle.html>, acessada em Junho 2001.
18. Tenório, J. A. S.; Espinosa, D. C. R.; *Anais do Seminário Nacional sobre Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares*, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil, 2000.
19. Ordi, H.; *J. Power Sources* **1995**, 57, 51.
20. Ammann, P.; *J. Power Sources* **1995**, 57, 41.
21. [http://www.ctu.ch/news/Archiv\\_e/Batteries.htm](http://www.ctu.ch/news/Archiv_e/Batteries.htm), acessada em Janeiro 2002.
22. <http://www.recymet.ch/p1a.htm>, acessada em Dezembro 2001.
23. Oliveira, N. M. M.; Ribeiro, S. H.; Batista, M. A. O.; Nicolli, F. C.; *Relatório Interno do Centro de Tecnologia Mineral/CNPq*, Rio de Janeiro, 1999.
24. Vogel, A. I.; *Química Analítica Qualitativa*, 5ª ed., Editora Mestre Jou: São Paulo, 1981, p. 232-235 e 296-305.
25. Vogel, A. I.; *Química Orgânica Qualitativa*, Ao Livro Técnico: Rio de Janeiro, 1981, vol. 1, p. 457.
26. Lauffer, L. G.; *Anais do Seminário sobre Reciclagem de Resíduos Industriais*, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil, 2000.