



ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DE METAIS DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Michele Friedrich Figueiró¹ (mfriedrichfigueiro@gmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes² (cmoraes@unisinis.br), Nicole Martins³ (nicole.martins@hotmail.com), Pedro Gabriel Bueno César⁴ (pedrocesar06@hotmail.com), Katia Ocanha⁵ (katia.ocanha@hotmail.com), Tatiana Louise Avila de Campos Rocha⁶ (tlavila@unisinis.br)
1, 2, 3, 4, 5 e 6 UNISINOS

RESUMO

Atualmente tem-se a disponibilidade de várias técnicas de recuperação e reciclagem de metais de resíduos eletroeletrônicos, basicamente em duas grandes rotas, processos piro e hidrometalúrgicos. Esta recuperação é de suma importância tendo em vista a escassez destes recursos na natureza, inclusive em algumas regiões no mundo estão ocorrendo conflitos pela disputa de metais nobres utilizados na fabricação de componentes de microeletrônica. Porém, é necessária uma avaliação criteriosa desses processos de recuperação no que tange o potencial impacto ambiental que pode ser causado. Portanto, o foco deste artigo é a aplicação de uma ferramenta avançada de gestão ambiental denominada Análise de Inventário de Ciclo de Vida. Para a realização da análise foram construídos os fluxogramas dos processos, balanço de entrada e saída de materiais e avaliação de aspectos e impactos ambientais. Como resultado desta análise obteve-se significância dos aspectos e impactos avaliados, demonstrando que o processo pirometalúrgico tem maior potencial de causar danos se avaliado sob os aspectos de consumo de energia e geração de emissões atmosféricas, e o processo hidrometalúrgico tem maior potencial de causar danos se avaliado sob os aspectos de consumo de água e soluções lixiviantes, geração de efluentes líquidos e soluções lixiviantes usadas.

Palavras-chave: resíduos eletroeletrônicos, ciclo de vida, metais

LIFE CYCLE INVENTORY ASSESSMENT OF ELECTRONICS WASTE METAL RECYCLING

ABSTRACT

Nowadays there is the availability of a variety of metal recovery and recycling techniques of electroelectronic waste, basically into two major routes, pyro and hydrometallurgical processes. This recovery is of paramount importance in view of the scarcity of these resources in nature, including in some regions in the world are occurring conflicts over race of noble metals used in the manufacture of microelectronic components. But a careful evaluation of these recovery processes is required regarding the potential environmental impact that may be caused. Therefore, the focus of this paper is the application of advanced environmental management tool called Life Cycle Inventory Assessment. To perform the analysis were built flowcharts of processes, input and output balance of materials and assessment of environmental aspects and impacts. As a result of this analysis was obtained significant aspects and impacts assessed, showing that the pyrometallurgical process has greater potential to cause damage if evaluated under the aspects of energy consumption and generation of air emissions, and the hydrometallurgical process has greater potential to cause harm is estimated from the points of water consumption and leaching solutions, and generation of wastewater and leaching solutions used.

Keywords: electroelectronics waste, life cycle, metals

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





1. INTRODUÇÃO

O crescimento do setor eletroeletrônico (EEE) foi motivado, principalmente, pelo faturamento dos novos bens de consumo no mercado, como smartphones e tablets, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE).

Um dos motivos que fortalece a substituição dos EEE, independente do fato de estar ou não funcionando, e que estabelece o tempo de vida útil, é a inovação apresentada nos EEE lançados recentemente no mercado. Isto torna um motivo de preocupação o descarte dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), pois possuem grandes quantidades de metais pesados, que destinados de forma incorreta podem acarretar em diversos e graves problemas ambientais (Silva, Oliveira, Martins, 2007). O reuso e reciclagem dos vários materiais que compõem esses equipamentos tais como plástico, vidro, metais e resinas vêm sendo estudados cada vez mais. A tabela 1 mostra a composição média dos REEE, onde é possível verificar que a parcela de maior composição são os metais seguidos dos componentes plásticos.

Tabela 1: Composição média dos REEE - percentual em massa.

MATERIAL	QUANTIDADE
Plásticos	20,6%
Ferro/Aço	47,9%
Metais não ferrosos	12,7%
Vidro	5,4%
Placas de circuito impresso	3,1%
Madeira	2,6%
Outros	7,7%

Fonte: Gerbase e Oliveira, 2011

Segundo estudo sobre Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, encomendado pela Secretaria de Desenvolvimento da Produção do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (SDP/MDIC) e pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) a estimativa do volume potencial de geração de REEE no Brasil em 2014 seria de 406.000 (t) para REEE de grande porte (refrigerador, fogão, lava roupa e ar condicionado) e 694.000 (t) para REEE de pequeno porte (televisor/monitor, lcd/plasma, dvd/vhs, produtos de áudio, desktop, notebook, impressora, celular, batedeira, liquidificador, ferro elétrico, furadeira). Esse volume potencial de geração de REEE foi calculado através da metodologia cujo resultado desloca o valor das vendas de EEE em um determinado período, em função da vida útil do EEE.

Este mesmo estudo fez um benchmarking internacional, e comparou o valor encontrado com referências internacionais. Para comparação foi utilizado o PIB per capita, pois apresentou forte correlação com a geração de REEE per capita, no sentido de que quanto maior o PIB tanto maior seria o potencial de geração de REEE. Dessa forma, foi feita uma análise comparando valores internacionais com o ponto máximo (no ano de 2016) e mínimo (no ano de 2011) da estimativa realizada, considerando que o PIB per capita no Brasil, tanto em 2011 quanto em 2016, não tivesse alteração. Essa análise revelou que em 2016 a potencial geração de REEE será 50% maior do que em 2011. E o Brasil, considerando o ponto máximo, em comparação ao primeiro da lista em PIB per capita, a Dinamarca, demonstrou que a potencial geração é em torno de 220% menor.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

UNISINOS
Somos infinitas possibilidades

Universidade de Brasília
laxis Lab. do Ambiente Construído
Inclusão e Sustentabilidade
FAP | CDS | FGA | UAB



Os subprodutos gerados por esses equipamentos poderiam ser implementados novamente no ciclo produtivo, reduzindo assim custos e tempo de produção, proporcionando benefício econômico além do ambiental (Silva, Oliveira, Martins, 2007).

Para a reciclagem de metais utilizam-se diferentes processos. De acordo com Moreira (2009), os REEE possuem diversos elementos, desde elementos simples até hidrocarbonetos complexos. Destes, os metais são os que se apresentam em maior quantidade, representando cerca de 70% em massa. Entre eles estão o ferro (Fe), o cobre (Cu), o alumínio (Al), o ouro (Au), entre outros. Esses metais são provenientes de várias localidades, como por exemplo, o cobre que é utilizado como condutor elétrico é extraído no Chile. Já o tântalo, que é encontrado no mineral columbita-tantalita (mais conhecido como coltan) e é utilizado na fabricação de capacitores, representa uma situação bastante delicada, pois a posse das minas de coltan na República do Congo é um dos principais motivos da manutenção da guerra civil que o país está enfrentando.

Dentre os processos de reciclagem de metais está a pirometalurgia, que se utiliza de um mecanismo de concentração de metais na fase metálica e rejeição dos materiais estranhos em forma de escória. Outro processo empregado é a hidrometalurgia que consiste em uma série de reações químicas ácidas para dissolução do material sólido e após é submetido a um processo de separação com extração por solvente.

A pirometalurgia foi aplicada em diversos casos na reciclagem de metais. É um processo de metalurgia baseado na obtenção e refino de materiais através da aplicação de calor, tem sido considerado um dos métodos mais importantes e antigos para extração de metais. Para este processo é requerido um alto consumo de energia. A pirometalurgia é composta por diversas etapas, que envolvem processos de redução, fusão e conversão, e refino dependendo das condições químicas do material a ser tratado.

A pirólise, uma etapa de transformação química na pirometalurgia, foi estudada por Jie et al., com o objetivo de determinar a composição do efluente proveniente do reator da pirólise. Como resultado da reciclagem de metais em placas de circuito impresso (PCI), por este método, obteve-se uma fração sólida correspondente a 75-80% em massa, composta principalmente de fibra de vidro, metais e carbono. Na fração líquida, neste caso 9% em massa, foram encontrados compostos orgânicos aromáticos e oxigenados. Já na fração gasosa, 13% em massa, era composta por hidrocarbonetos leves, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e oxigênio.

Através do processo hidrometalúrgico é possível extrair metais por reações de dissolução em meio aquoso, as principais etapas são a lixiviação e a separação sólido-líquido. As soluções utilizadas podem ser ácidas ou alcalinas. E para que o processo ocorra de forma mais eficiente são necessárias condições específicas de pressão e temperatura.

Silva et al. estudaram a rota hidrometalúrgica para extração de prata em PCI, utilizando soluções ácidas como ácido sulfúrico, ácido nítrico e água régia, a 75°C por 18 horas. Como resultado obteve-se a possibilidade de recuperação de até 96,6% em massa. Caldas et al. realizaram estudos sobre hidrometalurgia para recuperação de metais em PCI, com soluções ácidas em temperatura ambiente. Através do estudo chegou-se a conclusão que a melhor rota de recuperação de prata foi com a solução de ácido nítrico e para a recuperação de estanho foi com a solução de água régia.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente artigo é realizar análise de inventário de ciclo de vida da reciclagem de metais de REEE a partir da comparação dos processos de pirometalurgia e hidrometalurgia.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





3. METODOLOGIA

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é definido como um processo objetivo que mensura a quantidade de energia, água, demais insumos e matérias-primas, emissões atmosféricas, efluentes e resíduos de todo o ciclo de vida de um determinado processo, produto ou serviço.

Para o inventário de ciclo de vida, foi elaborado o fluxograma dos processos de piro e hidrometalurgia, balanço de entrada e saída dos processos e após foi realizada análise de aspectos e impactos ambientais.

A análise de Aspectos e Impactos foi conduzida levando-se em consideração:

- A. Abrangência
- B. Severidade
- C. Frequência

A abrangência é o critério que indica o âmbito alcançado pelo impacto ambiental, representando a sua abrangência espacial (localização do dano), devendo ser pontuado conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da abrangência

CLASSIFICAÇÃO	EXEMPLO	PONTUAÇÃO
Pode causar impacto localizado no entorno do local de ocorrência.	Geração de odores – esgoto doméstico e todos os aspectos associados ao impacto risco à saúde	1
Pode causar impacto que ultrapassa o local de ocorrência, porém, é restrito aos limites da instalação.	Incêndio causado por produtos químicos inflamáveis e vazamento/derrame de produtos químicos.	2
Pode causar impacto regional ultrapassando os limites da instalação até 100 km do seu entorno.	Consumo de gases, usos de materiais (caneta, carimbo, cartuchos, etc.), geração de resíduos, uso de produtos químicos inflamáveis.	3
Pode causar impacto regional ultrapassando 100 km dos limites da instalação.	Consumo de água e energia e geração de resíduos – lâmpadas fluorescentes e/ou de vapor de mercúrio	4

A severidade representa a gravidade da alteração e a reversibilidade (capacidade de remediar-se) do impacto, devendo ser pontuada conforme as especificações da Tabela 3.

Tabela 3: Classificação da severidade

CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO
Não causa danos.	1
Causa danos leves com parâmetros acima de limites estabelecidos pela legislação ou normas, entretanto o impacto cessa com a adequação do aspecto via controle operacional.	2
Causa danos severos com parâmetros acima dos limites estabelecidos pela legislação ou normas, entretanto, apesar do impacto cessar com a adequação do aspecto via controle operacional, os danos causados são irrecuperáveis e/ou necessitam de uma estrutura externa a fim de que haja uma recuperação ou mitigação do impacto.	4

A frequência é a periodicidade de ocorrência do aspecto/impacto ambiental, em situação normal, conforme as especificações da Tabela 4.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





Tabela 4: Classificação da frequência

CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO
Periodicidade de ocorrência semestral ou maior	1
Periodicidade de ocorrência mensal	2
Periodicidade de ocorrência semanal	3
Periodicidade de ocorrência diária	4

Uma vez pontuados de acordo com as especificações descritas nas Tabelas 3, 4 e 5, as pontuações devem ser somadas para se obter os seguintes resultados conforme as pontuações da Tabela 5.

Tabela 5: Relação da pontuação resultante da soma da abrangência, severidade e frequência com a classificação da significância

PONTUAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DA SIGNIFICÂNCIA
3 a 6	Desprezível
7 a 9	Moderado
10 a 18	Crítico

Os processos de piro e hidrometalurgia foram escolhidos para comparação, pois são considerados os mais comumente utilizados, eficientes e de menor custo de implementação para a recuperação de metais de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxogramas dos processos de piro e hidrometalurgia estão ilustrados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Foram elaborados a partir da análise dos processos aplicados para reciclagem de metais de placas de circuitos impressos, parte onde se encontra a maior concentração de metais nos equipamentos eletroeletrônicos.

Figura 1: Fluxograma do processo de pirometalurgia



Figura 2: Fluxograma do processo de hidrometalurgia



Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





Para incrementar a análise de aspectos e impactos ambientais foram avaliados os aspectos de entrada e saída dos dois processos. No processo de pirometalurgia foram considerados como aspectos de entrada o consumo de energia e de água, e como aspectos de saída foram considerados a obtenção do(s) metal(is) de interesse, geração de resíduos sólidos, emissão de efluentes líquidos e emissões atmosféricas. No processo de hidrometalurgia foram considerados como aspectos de entrada o consumo de energia, de água e de soluções lixiviantes, e como aspectos de saída a obtenção do(s) metal(is) de interesse, geração de resíduos sólidos, emissão de efluentes líquidos, emissões atmosféricas e geração de soluções lixiviantes usadas.

Foram realizadas as análises de aspectos e impactos ambientais decorrentes dos processos de piro e hidrometalurgia para a recuperação de metais de placas de circuito impresso, como aspectos de entrada foram considerados os recursos consumidos, como aspectos de saída foram levantadas a geração de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas e como aspecto de emergência foi considerado incêndio. As tabelas 6 e 7 apresentam as análises de aspectos e impactos ambientais. Os resultados das análises estão expressos na coluna de significância.

A avaliação do processo de pirometalurgia considerou abrangência de pontuação 4 para os aspectos de consumo de água e energia, pois pode causar impacto regional ultrapassando 100 km dos limites da instalação, devido a distância das fontes destes recursos. No caso dos aspectos de geração de resíduos sólidos e emissão de gases tóxicos foi considerada abrangência de pontuação 3, pois pode causar impacto regional ultrapassando os limites da instalação até 100 km do seu entorno, considerando que a destinação do resíduo seja efetuada em uma empresa próxima à instalação e as emissões atmosféricas atingiriam a região do entorno da instalação. Para os aspectos de geração de efluentes e incêndio foi considerada abrangência de pontuação 2, pelo fato de ser restrito aos limites da instalação, considerando que os efluentes gerados são vapores condensados em pequenas quantidades e no caso de incêndio foi considerada que a instalação atendia aos requisitos legais vigente no que tange ao Programa de Prevenção e Combate a Incêndio.

A severidade recebeu pontuação 4 para o aspecto de emissão de gases tóxicos, pois pode causar danos severos com parâmetros acima dos limites estabelecidos pela legislação. Para os aspectos de consumo de energia, geração de resíduos sólidos, geração de efluentes e incêndio foi considerada severidade com pontuação 2, pois apesar do potencial de causar impactos ambientais, o mesmo cessa por meio de adequação do aspecto via controle operacional. O aspecto de consumo de água recebeu pontuação de severidade 1, pois a água consumida é em circuito fechado e apenas para refrigeração do sistema.

Na classificação de frequência os aspectos de consumo de energia, geração de resíduos sólidos, emissão de gases tóxicos e geração de efluentes líquidos receberam pontuação 4 considerando que toda vez que o processo de pirometalurgia é executado, estes aspectos são gerados. Para os aspectos de consumo de água e incêndio foi considerada pontuação 1, pois foi considerado consumo de água em circuito fechado e a sua reposição esporádica no sistema e o aspecto de incêndio pode ocorrer de forma emergencial quando houver algum problema no sistema.

Tabela 6: Avaliação de aspectos e impactos ambientais do processo de pirometalurgia

Nº	ASPECTOS	IMPACTOS	ABRANGÊNCIA	SEVERIDADE	FREQUÊNCIA	SIGNIFICÂNCIA

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





1	Consumo de Recurso Natural (Energia elétrica, combustível fóssil ou reação exotérmica)	Redução da disponibilidade de recurso natural	4	2	4	10
2	Consumo de Recurso Natural (Água - circuito fechado de refrigeração dos equipamentos)	Redução da disponibilidade de recurso natural	4	1	1	6
3	Geração de Resíduos Sólidos (escórias de cerâmicos, polímeros e metais de difícil reciclagem)	Alteração da qualidade do solo	3	2	4	9
		Alteração da qualidade da água	3	2	4	9
4	Emissão de gases tóxicos (CO ₂ , hidrocarbonetos, entre outros)	Alteração da qualidade do ar (gases)	3	4	4	11
5	Geração de Efluentes	Alteração da qualidade do solo	2	2	4	8
		Alteração da qualidade da água	2	2	4	8
6	Incêndio/Explosão (Combustível)	Alteração da qualidade do solo (resíduos)	2	2	1	5
		Alteração da qualidade da água (efluente)	2	2	1	5
		Alteração da qualidade do ar (gases, fumaça)	2	2	1	5

Na avaliação dos aspectos e impactos do processo de hidrometalurgia foi considerada abrangência com pontuação 4 para os aspectos de consumo de energia, água e soluções lixiviantes em função do local da fonte destes recursos, que podem ultrapassar 100 km do limite da instalação. Para o aspecto de geração de resíduos sólidos foi considerada pontuação de abrangência 3 devido o local de destinação não ultrapassar 100 km do limite da instalação. Já os aspectos de geração de efluentes, soluções lixiviantes usadas e incêndio foram pontuados com abrangência 2, pois representam potencial impacto restrito aos limites da instalação. E para o aspecto de emissão atmosférica proveniente da volatilização das soluções lixiviantes a abrangência foi pontuada com 1, pois fica restrita ao entorno da instalação.

A severidade foi caracterizada como 4 para os aspectos de geração de efluentes e soluções lixiviantes usadas, pois representa potencial de danos severos com parâmetros acima dos limites estabelecidos pela legislação. Para os aspectos de consumo de água, consumo de soluções lixiviantes, geração de resíduos sólidos, geração de emissões atmosféricas e incêndio a severidade foi pontuada como 2, pois apesar do potencial de causar impactos ambientais, o mesmo cessa por meio de adequação do aspecto via controle operacional. E o aspecto de consumo de energia elétrica foi pontuada com severidade 1, pois tem baixo potencial de causar dano levando em consideração a pequena quantidade de energia que é necessária para este processo.

Na matriz de significância a frequência recebeu pontuação 4 para os aspectos de consumo de energia, água e soluções lixiviantes, bem como para a geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e soluções lixiviantes usadas, pois toda vez que o processo de hidrometalurgia é executado, estes aspectos estão presentes. Para o aspecto de incêndio foi considerada pontuação 1, pois pode ocorrer de forma emergencial quando houver algum problema no sistema.

Tabela 7: Avaliação de aspectos e impactos ambientais do processo de hidrometalurgia

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





Nº	ASPECTOS	IMPACTOS	ABRANGÊNCIA	SEVERIDADE	FREQUÊNCIA	SIGNIFICÂNCIA
1	Consumo de Recurso Natural (Energia elétrica)	Redução da disponibilidade de recurso natural	4	1	4	9
2	Consumo de Recurso Natural (Água)	Redução da disponibilidade de recurso natural	4	2	4	10
3	Consumo de Recurso Natural (Soluções lixiviantes, ácidas e alcalinas)	Redução da disponibilidade de recurso natural	4	2	4	10
4	Geração de Resíduos Sólidos (escórias de cerâmicos, polímeros e metais de difícil reciclagem)	Alteração da qualidade do solo	3	2	4	9
		Alteração da qualidade da água	3	2	4	9
5	Emissão de emissões atmosféricas provenientes da volatilização das soluções lixiviantes	Alteração da qualidade do ar	1	2	4	7
6	Geração de Efluentes	Alteração da qualidade do solo	2	4	4	10
		Alteração da qualidade da água	2	4	4	10
7	Soluções lixiviantes usadas (ácidas e alcalinas)	Alteração da qualidade do solo	2	4	4	10
		Alteração da qualidade da água	2	4	4	10
8	Incêndio/Explosão (rede elétrica)	Alteração da qualidade do solo (resíduos)	2	2	1	5
		Alteração da qualidade da água (efluente)	2	2	1	5
		Alteração da qualidade do ar (gases, fumaça)	2	2	1	5

As análises de inventários de ciclo de vida revelaram diferentes cenários para os diferentes processos de reciclagem analisados. Foi possível visualizar que a pirometalurgia apresenta como aspectos significativos o consumo de energia e emissão de gases tóxicos, já o processo de hidrometalurgia apresentou como aspectos significativos o consumo de água e de soluções lixiviantes (produtos químicos perigosos), e, conseqüentemente, a geração de efluentes também é considerada como significativo.

Para Vivas et. al. (2013), a hidrometalurgia em comparação a outros processos, tem como principal vantagem não necessitar de recurso energético significativo, como energia elétrica. Por outro lado, a pirometalurgia requer muita energia para atingir altas temperaturas, sendo o processo que mais necessita desse recurso, cuja fonte provém da queima de combustíveis fósseis, reações exotérmicas ou aquecimento elétrico.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





Segundo Gerbase et. al.(2013), outro aspecto significativo relativo ao processo pirometalúrgico é a possibilidade da geração de emissões atmosféricas tóxicas como, por exemplo, dioxinas que são liberadas a partir da combustão de polímeros clorados.

Por outro lado, uma das principais desvantagens no processo de hidrometalurgia é o elevado consumo de água e de produtos químicos perigosos para preparação das soluções lixiviantes. Assim como os efluentes e as soluções lixiviantes usadas, gerados após a recuperação dos metais por este processo.

5. CONCLUSÃO

Da mesma forma que é necessário utilizar os processos de recuperação de metais, dada a atual situação de escassez e conflitos acerca da disponibilidade desses recursos, é preciso avaliar qual método apresenta menor potencial de impacto ambiental. Pois para efetivar a reciclagem os processos necessitam de insumos e matérias-primas que também precisam ter seus consumos controlados e empregados da forma mais eficiente para evitar que também se tenha redução da disponibilidade desses recursos na natureza, bem como reduzir a geração de resíduos, efluentes e emissões atmosféricas. Neste sentido, após avaliar o inventário de ciclo de vida, sob diferentes pontos de vista, chega-se as seguintes considerações:

- 1) Se avaliado sob a ótica de consumo de energia, o processo pirometalúrgico representa maior potencial de impacto ambiental, pois necessita atingir altas temperaturas em pequenos intervalos de tempo para um processo eficiente de recuperação de metais, mesmo que no processo de hidrometalurgia seja requerida pequenas quantidades de energia e muitas vezes por períodos maiores;
- 2) Sob o ponto de vista da geração de emissões atmosféricas, o processo de pirometalurgia mais uma vez representa maior potencial de impacto ambiental pelo fato de expor os REEE a altas temperaturas, e dependendo da composição dos materiais presentes são geradas emissões atmosféricas tóxicas;
- 3) Sob a ótica do consumo de água e soluções lixiviantes ácidas ou alcalinas que são classificadas como produtos perigosos à saúde e ao meio ambiente, o processo hidrometalúrgico apresenta maior potencial de impactos ambientais, pelo fato de necessitar de grande quantidade destes recursos, diferentemente do processo pirometalúrgico que não requer esses recursos na sua execução.
- 4) Ao se avaliar a geração de efluentes líquidos e soluções lixiviantes usadas o processo hidrometalúrgico, mais uma vez tende a representar um maior potencial de impacto ambiental, pelo fato de consumir mais recursos hídricos para diluição de soluções lixiviantes, que necessitam de tratamento adequado antes de seu descarte.

O próximo passo será realizar análise de ciclo de vida, considerando um balanço de massa quantitativo para melhor avaliar os impactos potenciais significativos e críticos de ambos os processos para melhor concluir qual tem do ponto de vista ambiental maior viabilidade para a recuperação de metais de resíduos de eletroeletrônicos.

REFERÊNCIAS

- ZHANG, S., FORSSBERG, E., et al. Aluminum recovery from electronic scrap by highforce eddy-current separators. Resources, Conservation and Recycling, v. 23, p. 225-241, 1998.
- ZHANG, S., FORSSBERG, E. Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap. Resources, Conservation and Recycling, v. 21, p. 247-269, 1997.
- VEIT, H.M., et al. Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit board scrap. Waste Management. 25 ed. 1 p. 67-74, 2005.
- SKERLOS, S. J., BASDERE, B. Environmental and economic view on cellular telephone remanufacturing. In: Proceedings Colloquium e-ecological manufacturing. Berlim, Uni-Edition, p. 143-148, 2003.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





- SHICHANG, Z. et al. Recycling of electric materials. Trans. Mat. Res. Soc. Japão, v. 18A. p. 201-206. 1994.
- SHENG, P. P., ETSSELL, T. H. Recovery of gold from computer circuit board scrap using aqua regia. Waste Management & Research. ed. 4. v. 25, p. 380-383, 2007.
- VEIT, H. M., BERNARDES, A. M., BERTUOL, D. A., OLIVEIRA, C. T. Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas Rem: Revista Escola de Minas, vol. 61, núm. 2, abril-junho, 2008, pp. 159-164,
<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm> Acesso em 27/11/2014.
- SILVA, B. D., OLIVEIRA, F. C., MARTINS, D. L. Resíduos eletroeletrônicos no Brasil, Santo André, 2007.
http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1367253180.pdf Acesso em 27/11/2014.
- GERBASE, A. E., OLIVEIRA, C. R., Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química, Porto Alegre, 2011.
- MEIUS ENGENHARIA Ltda. Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais. 2009.
- SENA, F. R., Evolução da Tecnologia Móvel Celular e o Impacto nos Resíduos de Eletroeletrônicos, Rio de Janeiro, 2012.
- ANDRADE, R. T. G., FONSECA, C. S. M., MATTOS, K. M. C., Geração e destino dos resíduos eletrônicos de informática nas faculdades e universidades de Natal-RN, São Carlos, 2010.
- XAVIER, L. H., LUCENA, L. C., COSTA, M. D., Gestão de resíduos eletroeletrônicos: mapeamento da logística reversa de computadores e componentes no Brasil, Recife, 2010.
- VIVAS, R. C., COSTA, F. P., Tomada de decisão na escolha do processo de reciclagem e recuperação de metais das placas eletrônicas através da análise hierárquica, IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2013.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica

