

### **III-128 - DIAGNÓSTICO E APERFEIÇOAMENTO DA GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS NA FIOCRUZ (ESTUDO DE CASO)**

**Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual Machado<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Atuou como Coordenador Técnico de Resíduos Perigosos no Depto de Meio Ambiente na FIOCRUZ. Mestrando em Engenharia Ambiental pela UFRJ.

**Tatsuo Carlos Shubo<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela UERJ. Especialização em Saneamento e Controle Ambiental pela Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP). Mestrado em Saúde Pública pela ENSP. Atuou como Gestor Ambiental da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Assessor da Vice-Presidência de Ambiente, Atenção e Promoção da Saúde da FIOCRUZ.

**Lídia Yokoyama<sup>(3)</sup>**

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará. Mestrado em Engenharia Metalúrgica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO). Doutorado em Química pela PUC-RIO. Professora Associada do Depto de Processos Inorgânicos da Escola de Química da UFRJ.

**Júlio Carlos Gomes<sup>(4)</sup>**

Graduação em Engenharia Química e Química pela UFRJ. Mestrado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Doutorado em Engenharia Química pelo Centre National de la Recherche Scientifique/Université Claude Bernard. Professor Associado do Depto de Química Analítica do Instituto de Química da UFRJ.

**Marcia Marques<sup>(5)</sup>**

Mestrado e Bacharelado em Biologia pela UFRJ. PhD em Engenharia Química pelo Royal Institute of Technology-KTH, Estocolmo. Pós-doutorado em Tecnologias Ambientais pela Linnaeus University. Professora Associada do Depto de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Gilberto Cardoso, 230/804 - Leblon – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22430-010 - Brasil - Tel: (21) 8107-6253 - e-mail: [gustavoxmartins@yahoo.com.br](mailto:gustavoxmartins@yahoo.com.br)

#### **RESUMO**

Ao contrário das unidades industriais, os resíduos gerados em instituições de ensino e pesquisa caracterizam-se pelo pequeno volume e elevada diversidade, o que dificulta uma padronização nas formas de tratamento e disposição adequados. Hoje faz-se necessária a implementação de sistemas de gestão eficientes para os diversos tipos de resíduos gerados para mitigação dos impactos ambientais causados pelos mesmos. O objetivo deste estudo é contribuir para o estabelecimento de novas rotas de gestão e tratamento para os resíduos químicos gerados na Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e, dessa forma, minimizar custos e riscos ambientais. Dentro desse contexto, este trabalho caracterizou, classificou e quantificou os resíduos perigosos gerados pelas diferentes atividades de pesquisa e unidades de saúde da FIOCRUZ no Campus do Rio de Janeiro em período amostral de um ano. Após estudo e análise econômica, foi elaborada uma proposta para substituição da única opção utilizada – incineração - por novas rotas de destinação final (coprocessamento e aterro industrial) e de tratamento na própria FIOCRUZ (neutralização, precipitação química e oxidação avançada). Para os tratamentos internos elaborou-se uma estimativa de custo. Através da análise econômica comprovou-se a viabilidade de construção de um laboratório específico para este fim e a utilização do coprocessamento como rota principal de destinação final, minimizando os impactos ambientais gerados pela FIOCRUZ e reduzindo em mais da metade os custos na destinação final de seus resíduos químicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão Ambiental, Resíduos Químicos, Tratamento de Resíduos, Disposição Final.

#### **INTRODUÇÃO**

As universidades e instituições de pesquisa geram aproximadamente 1% dos resíduos perigosos no mundo (ALBERGUINI *et al*, 2005). Mesmo que o volume gerado seja pequeno quando comparado à geração pelas indústrias, as universidades e unidades de pesquisa não podem e nem devem ignorar suas responsabilidades para

com o meio ambiente, gerenciando seus resíduos adequadamente e dando o exemplo. Por serem instituições de referência e formadoras de recursos humanos, os quais futuramente estarão inseridos nos processos produtivos das indústrias, as universidades e instituições de pesquisa são atores importantes na preservação do meio ambiente. Sendo assim, o correto tratamento dos resíduos gerados nestas instituições, além de minimizar os impactos ao meio ambiente, também desempenha importante papel na conscientização de gerações.

Ao contrário das unidades industriais, os resíduos gerados em instituições de estudo e pesquisa caracterizam-se pelo pequeno volume e elevada diversidade, o que dificulta uma padronização nas formas de tratamento e disposição adequada. Ainda, a cada nova pesquisa gerada, novos produtos são consumidos e, consequentemente, os mais diversos tipos de resíduos são produzidos (ALBERGUINI *et al*, 2005).

Atualmente, vem sendo discutida a gestão integrada, baseada em conceitos de ecoeficiência e produção mais limpa (P+L). De acordo com o conceito de P+L, o primeiro passo no gerenciamento de resíduos de uma instituição é a identificação dos mesmos, sua classificação e quantificação. Foi tomado como referência o artigo “Gerenciamento de resíduos dos laboratórios do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro como um projeto educacional e ambiental” (BARBOSA *et al.*, 2003) para guiar este estudo. O artigo propõe uma metodologia de classificação e quantificação dos resíduos gerados nos laboratórios da UERJ para estipular rotas de tratamento adequadas, dentre outros assuntos abordados. A metodologia apresentada no artigo foi aprimorada e adaptada à realidade da Instituição estudada para que fossem obtidos os melhores resultados.

Dentro desse contexto, este trabalho visa a elaboração de uma proposta de novas rotas de tratamento para a instituição estudada, a qual já destina seus resíduos químicos para incineração. O intuito desse projeto é otimizar a destinação final dos resíduos químicos gerados e, consequentemente, minimizar os impactos ambientais gerados pela instituição.

## **OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma proposta de aperfeiçoamento do sistema de gestão de resíduos químicos gerados nos laboratórios e atividades da FIOCRUZ no Município do Rio de Janeiro, estabelecendo novas rotas de tratamento para os mesmos, para obter uma minimização dos custos e danos causados ao meio ambiente.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar, classificar e quantificar os resíduos químicos gerados pelas diferentes atividades de pesquisa e unidades de saúde da FIOCRUZ no município do Rio de Janeiro;
- Propor rotas de tratamento alternativas e mais eficazes do que as atualmente utilizadas, se for o caso;
- Estimar os custos para instrumentação de laboratório de tratamento de resíduos perigosos, internamente, na referida Fundação.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Identificação dos resíduos coletados na Fiocruz**

Concomitantemente à revisão bibliográfica, foram colocadas em planilha de banco de dados, informações dos resíduos coletados na FIOCRUZ, durante um período de amostragem anual. O período estabelecido para elaboração de banco de dados foi de 18 de agosto de 2008 a 17 de agosto de 2009. Os dados foram obtidos através de planilha, a qual deve ser preenchida por cada requisitante de coleta de resíduos em seu respectivo laboratório. As coletas foram realizadas no campus de Manguinhos, abrangendo também o Instituto Fernandes Figueira (IFF), uma unidade externa ao campus de Manguinhos.

A quantificação dos resíduos sólidos contaminados com reagentes químicos, foi considerada uma média do peso de 20 coletas, sendo que a massa média obtida foi de doze (12) kg por unidade de barrica sólida coletada. Já no tocante aos resíduos líquidos, os quais também receberam a opção *unidade*, foi tomado como referência o volume de cada recipiente coletado.

## Classificação dos resíduos por categoria e quantidade

Após análise e conhecimento das soluções encontradas e finalização do período de levantamento dos resíduos gerados na FIOCRUZ, foi definida uma metodologia para classificação dos mesmos, com base na literatura (BARBOSA *et al.*, 2003) e adaptada à realidade da FIOCRUZ. Os resíduos foram classificados de acordo com os grupos apresentados na Tabela 1. Após a classificação dos resíduos, foi estipulado o quantitativo de cada classe no período amostral escolhido, para determinação de diferentes rotas de tratamento.

## Elaboração de uma proposta de tratamento com rotas definidas para tratamento interno e externo de todos os grupos de resíduos apontados

A partir dos dados quantitativos e qualitativos encontrados e do conhecimento das tecnologias aplicadas, foram determinadas rotas alternativas e mais adequadas de tratamento do que a atualmente existente para cada classe de resíduos, assim como para resíduos específicos gerados em grande quantidade, ou ainda, procedimentos para correntes de resíduos não antes gerenciados.

## Elaboração de estimativa de custo para instrumentação de um laboratório específico

A partir das rotas estabelecidas, foi realizada cotação e estimativa de custo para instrumentação de laboratório próprio, na FIOCRUZ, para tratamento dos resíduos selecionados. Também foi elaborada com o objetivo de comparação, uma estimativa de custo unitário do tratamento realizado atualmente e os propostos pelo estudo de aperfeiçoamento. A fase final se baseou em uma análise de viabilidade econômica combinada com a técnica para substituição parcial da rota de tratamento utilizada atualmente.

## ANÁLISE DE DADOS – RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

De acordo com a classificação dos resíduos, os mesmos foram agrupados, classificados e quantificados, em sólidos e líquidos, pois o estado físico do resíduo é importante para definir qual a melhor técnica de disposição final do mesmo. A Tabela 1 mostra os dados obtidos:

**Tabela 1: Classificação e quantificação dos resíduos da FIOCRUZ no período amostral de um ano.**

Classe	Volume (L)	Massa (kg)	Unidades	Classe
1	Metais	45	12,51	0
2	Embalagens vazias e contendo resíduos em suas paredes internas	0	39,85	804
3	Lixo comum	269,35	70,5	4563
4	Produtos explosivos e pirofóricos	23,46	0,55	0
5	Soluções ácidas	292,85	48,43	8
6	Soluções básicas	20,08	1.002,45	0
7	Substâncias e misturas sólidas inorgânicas/ Soluções aquosas contendo solutos orgânicos e inorgânicos dissolvidos que não abrangem as exceções citadas	3.629,28	954,33	71
8	Substâncias e misturas sólidas contendo Hg, Cd, Ti, F e Se	108,81	141,46	16
9	Substâncias e misturas sólidas contendo Br e I	60,3	4,32	0
10	Substâncias e misturas sólidas contendo Au, Ag, Pt, Pd e outros metais preciosos ou raros	395,3	0,53	1
11	Sólidos orgânicos	14,89	69,41	3
12	Solventes orgânicos halogenados	997,1	458,65	0
13	Solventes orgânicos não-halogenados	16.586,64	1.180,1	1
14	Recicláveis	0	20	22.767
15	Brometo de etídio	312,01	2.589,2	3
16	Bactericidas (glutaraldeído, hipoclorito, ácido peracético)	10.798,3	14	0
17	Resíduos cancerígenos, teratogênicos ou mutagênicos	745,68	1.765,2	59
<b>Total:</b>		<b>34.299,05</b>	<b>8.371,49</b>	<b>28.296</b>

## **DETERMINAÇÃO DE ROTAS DE TRATAMENTO, INSTRUMENTAÇÃO LABORATÓRIO E ANÁLISE ECONÔMICA**

De acordo com cada uma das 17 categorias na classificação acima apresentada (MACHADO, 2010), seja no estado líquido, sólido ou em unidades, foram estabelecidas as devidas rotas de tratamento, visando minimizar custos e danos ambientais, as quais estão descritas coletivamente nas tabelas 2 e 3.

### **Classe 1 – Metais**

A classe 1 é composta por metais em solução ou sólidos. No caso das soluções líquidas com metais, deve ser realizada a precipitação química. Após precipitação do metal, o mesmo pode ser separado por filtração à vácuo. A partir da remoção do contaminante e após análise, o sobrenadante pode ser descartado e o precipitado pode ser purificado para reaproveitamento ou desidratado e enviado para aterro industrial classe I. Caso esses sólidos sejam enviados para aterro industrial, os mesmos podem ser encapsulados para evitar contaminação. Assim, os mesmos podem ser acondicionados dentro de seus recipientes, em bombonas de polipropileno (PP) e isolados com cimento dentro da bombona.

### **Classe 2 – Embalagens vazias e contendo resíduos em suas paredes internas**

Os resíduos geralmente são coletados em embalagens diferenciadas de pequeno volume. No abrigo de resíduos, de acordo com a compatibilidade, estes resíduos são acondicionados em recipientes maiores. Também é realizada coleta de embalagens vazias, de tamanhos variados, contaminadas com reagentes e resíduos. As embalagens contaminadas atualmente são enviadas para incineração.

O intuito é realizar a lavagem de frascos âmbar e de embalagens de polietileno (PE, para que os mesmos possam ser reutilizados pelos laboratórios para acondicionar resíduos novamente. As demais embalagens que não puderem ser reutilizadas serão enviadas para coprocessamento, para que dessa forma, minimize-se o custo em torno de dez vezes comparado à incineração e esse material possa ser agregado ao clínquer (cimento).

### **Classe 3 – Lixo comum**

Os resíduos classificados como lixo comum são inertes, não tóxicos e facilmente absorvidos pela natureza, sendo compostos geralmente por sais inorgânicos, proteínas e sacarídeos. Estes resíduos são descartados como lixo comum exatamente por sua fácil degradação, absorção, não toxicidade e por não apresentarem periculosidade ao meio ambiente ou a saúde.

### **Classe 4 – Produtos explosivos e pirofóricos**

Os resíduos classificados como explosivos são basicamente compostos por ácido pícrico. Por suas características explosivas, este material não pode ser enviado para incineração por causar danos ao forno, para aterro industrial por risco de explosões subterrâneas, nem pode ser tratado através de oxidação avançada, por ser incompatível com material oxidante ( $H_2O_2$ ). Neste caso específico de substâncias explosivas, as mesmas devem ser acondicionadas e segregadas separadamente para que possam ser enviadas posteriormente a quem possa destinar esse material adequadamente.

### **Classes 5 e 6 – Soluções contendo ácidos e bases**

Os resíduos das classes 5 e 6 são ácidos e básicos. Ambos devem ser neutralizados para posterior descarte. Estes materiais podem ser descartados conjuntamente, ou seja, um neutralizando o outro, para evitar desperdícios e minimizar custos. Ainda reagentes vencidos podem ser utilizados como reagentes para reduzir ou elevar o pH no tratamento de outros resíduos, sendo eficientes nos processos de tratamento por oxidação avançada e precipitação química. Já resíduos sólidos contaminados, apresentando pH ácidos e/ou básicos, devem ser enviados para coprocessamento.

### **Classe 7 – Substâncias e misturas sólidas inorgânicas/ soluções aquosas contendo solutos orgânicos e inorgânicos dissolvidos que não abrangem as exceções citadas**

Os resíduos da classe 7 não se enquadram em nenhuma outra classe. Estes resíduos também devem ser destinados adequadamente e isso depende de sua composição. Na falta de melhor informação, eles são enviados para incineração, que é o método mais extremo e oferece até 99,99% de eficiência na degradação desses contaminantes. Todos os resíduos passíveis de serem coprocessados devem ser enviados para minimização de custo e os que não o são, devem ser enviados para incineração. Os resíduos dessa classe devem ter um estudo aprofundado para se definir melhores formas de tratamento.

**Classe 8 – Substâncias e misturas sólidas contendo Hg, Cd, Tl, F e Se**

A classe 8 é composta por metais em solução ou sólidos que não podem ser incinerados nem coprocessados. Tipicamente os resíduos dessa classe contêm mercúrio. Em todos os casos, as soluções líquidas devem ter como tratamento a precipitação química. Após precipitação dos metais, os mesmos devem ser separados por filtração à vácuo e enviados para recuperação ou aterro industrial classe I.

**Classe 9 – Substâncias e misturas sólidas contendo Br e I**

Como existe uma classificação específica para a maior parte dos contaminantes contendo bromo, os contaminantes dessa classe consistem basicamente de resíduos com iodo. O iodo é um bactericida e não deve ser descartado diretamente no meio ambiente, devendo ser segregado e tratado.

**Classe 10 – Substâncias e misturas sólidas contendo Au, Ag, Pt, Pd e outros metais preciosos ou raros**

A classe 10 é composta basicamente por metais preciosos em solução. No caso das soluções líquidas com metais, a maior parte é composta por nitrato de prata, revelador e fixador de raios-x. Como tratamento neste caso pode ser realizada a precipitação química por adição simples de cloreto de sódio ou ácido clorídrico. Após precipitação do metal, o mesmo pode ser separado por filtração à vácuo. A partir da remoção da prata, o sobrenadante pode ser descartado após análise e o precipitado pode ser purificado ou doado para reaproveitamento, também podendo ser disponibilizado no banco de resíduos, para empresas interessadas em recuperar os valores contidos no resíduo.

**Classe 11 – Sólidos orgânicos**

Os resíduos da classe 11 são basicamente compostos por sólidos ou substâncias pastosas orgânicas. Muitos sólidos estão contaminados com solventes orgânicos e a melhor forma de tratar os mesmos é o coprocessamento, pois desta forma o contaminante é destruído termicamente e o resíduo é aproveitado energeticamente ou como matéria prima a ser agregada ao clínquer, salvo se houver halogênios na molécula, quando só a incineração deve ser utilizada.

**Classe 12 – Solventes orgânicos halogenados**

Para disposição final destes resíduos existem três alternativas. A primeira seria a destilação para recuperação e reutilização, porém seria necessária a certificação dos reagentes recuperados e atualmente não há espaço, verba e recursos humanos capacitados para realizar estas análises na FIOCRUZ. O tratamento por destilação seria um desperdício, já que o produto recuperado não pode ser utilizado sem certificação. A segunda opção é a aplicação de POA para degradar esses contaminantes a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e ácidos minerais (HCl no caso dos solventes clorados), os quais podem ser absorvidos e tratados em uma ETE para esgoto sanitário padrão. Porém deve-se ter cuidado pois grande parte desses solventes são cancerígenos e tóxicos, podendo gerar produtos voláteis durante o tratamento. Sem controle das emissões para a atmosfera durante o procedimento, o processo pode contaminar o meio ambiente e os operadores responsáveis pelo tratamento e manipulação do resíduo. A terceira opção seria a oxidação térmica do material através da incineração. Esta tecnologia é cara e não favorece o meio ambiente por não reaproveitar o material. No entanto, neste caso é a técnica mais adequada para degradar os contaminantes e evitar a emissão de halogênios para a atmosfera e a contaminação dos funcionários.

**Classe 13 – Solventes orgânicos não halogenados**

Os resíduos da classe 13 são compostos por solventes e sólidos orgânicos não halogenados e representam grande parte dos resíduos gerados na FIOCRUZ. No caso dos resíduos sólidos, o tratamento mais apropriado é o coprocessamento, para que os mesmos possam ser reaproveitados como fontes substitutas de energia em função de seu alto poder calorífico, dessa forma minimizando o consumo de outras fontes. Comparando economicamente o coprocessamento também apresenta a vantagem de reduzir o custo na destinação do material, tendo custo dez vezes menor do que a incineração proporcionalmente.

**Classe 14 – Recicláveis**

Os resíduos classificados como recicláveis não são químicos, no entanto são compostos por elementos químicos que podem contaminar o meio ambiente e prejudicar a saúde humana. Na maior parte das vezes, estes elementos podem ser removidos do material, evitando a contaminação do meio ambiente, possibilitando a reutilização e a redução da extração e consumo desses elementos na natureza. Os resíduos classificados como recicláveis perigosos são as lâmpadas fluorescentes (vapor de mercúrio), as pilhas e baterias (metais pesados), o óleo vegetal (contamina corpos hídricos), resíduos tecnológicos (metais pesados preciosos) e cartuchos e toners de impressora (tinta e metais pesados). Todos estes resíduos devem ser destinados adequadamente, para evitar



a contaminação do meio ambiente. Estes resíduos coletados são enviados para empresas especializadas e licenciadas para descontaminação do material recebido, na recuperação dos elementos químicos, venda ou reutilização do material recuperado.

#### **Classe 15 – Brometo de etídio**

Por sua eficiência técnica nas pesquisas o brometo de etídio é utilizado massivamente na FIOCRUZ e representa em média 6,8 % de todos os resíduos gerados anualmente na instituição. Por ser um reagente altamente tóxico, mutagênico, cancerígeno e passível de contaminar seres vivos e materiais inorgânicos por contato, deve ser tratado isoladamente e por isso existe uma classe somente para este tipo de resíduo. O aterro industrial não pode ser utilizado para resíduos líquidos contaminados com brometo de etídio. O coprocessamento também não pode ser utilizado pelo contaminante apresentar halogenados. Deve ser utilizada a incineração neste caso para garantir a degradação máxima deste contaminante e reduzir a possibilidade de contaminação do meio ambiente e dos seres vivos pelo mínimo contato com o material.

#### **Classe 16 – Bactericidas (glutaraldeído, hipoclorito, ácido peracético)**

Para garantir a total degradação destes compostos pode ser utilizada a incineração, porém este é um processo caro. Para minimizar custos e garantir a eliminação dos agentes biológicos e químicos, pode ser utilizado POA. Este processo oxida quimicamente o resíduo gerando gás carbônico e água. O processo pode ser executado de forma simples através do uso de radiação solar natural.

#### **Classe 17 – Resíduos cancerígenos, teratogênicos ou mutagênicos**

Estes resíduos, assim como no caso do brometo de etídio, oferecem alto risco para a saúde humana por serem tóxicos, cancerígenos e mutagênicos. Por suas características, a melhor maneira de tratar os resíduos sólidos é o isolamento para incineração. Com esta técnica minimiza-se a possibilidade de contato e garante-se a degradação máxima deste contaminante. Já no caso dos resíduos líquidos existe a possibilidade de tratamento através de POA. O processo de oxidação avançada degrada compostos tóxicos e recalcitrantes, através da oxidação química dos mesmos.

As rotas de tratamento identificadas detalhadamente acima estão agrupadas nas tabelas 2 e 3. As rotas a serem executadas externamente a FIOCRUZ estão apresentadas na Tabela 2 e as rotas a serem executadas internamente estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 2: Rotas de tratamento ou disposição final externas indicadas para os resíduos da FIOCRUZ**

<b>Tratamentos Externos/Disposição Final</b>	<b>Resíduos a serem tratados</b>
INCINERAÇÃO	líquidos e sólidos orgânicos halogenados, resíduos contaminados com brometo de etídio, resíduos sólidos tóxicos
COPROCESSAMENTO	embalagens e EPIs contaminados, sólidos orgânicos, solventes orgânicos não halogenados, produtos e reagentes vencidos
ATERRO INDUSTRIAL CLASSE I	metais pesados, precipitados ou sólidos, lodo oriundo de POA e precipitação química

**Tabela 3: Rotas de tratamento internas indicadas para os resíduos da FIOCRUZ**

<b>Tratamentos Internos</b>	<b>Resíduos a serem tratados</b>
NEUTRALIZAÇÃO	soluções contendo ácidos e bases
PRECIPITAÇÃO QUÍMICA	soluções contendo metais pesados, preciosos ou não
ENCAPSULAMENTO	metais pesados, precipitados ou sólidos, lodo oriundo de POA e precipitação
POA	bactericidas e resíduos líquidos tóxicos e recalcitrantes

## **ANÁLISE ECONÔMICA PARA INSTRUMENTAÇÃO LABORATÓRIO**

Como pode ser verificado na Tabela 4, em proposta enviada pela empresa A, o custo para incineração de 1 kg de resíduo químico é R\$ 2,80. Atualmente a Instituição estudada tem um custo médio anual para as 45 toneladas de R\$ 126.000,00 apenas para destinação final dos resíduos químicos, sem contabilizar os gastos na coleta, armazenamento e transporte dos mesmos.

Já em proposta enviada pela empresa B, o custo para coprocessamento de líquidos orgânicos não halogenados, EPIs contaminados quimicamente, embalagens contaminadas, medicamentos vencidos e produtos fora de validade é de R\$ 0,45 por kg de resíduo tratado. Fazendo cálculos primários, apenas na adoção do coprocessamento para os resíduos passíveis de serem tratados por essa técnica, se tem uma redução de 84 % no custo. Considerando-se que metade dos resíduos podem ser coprocessados, dado verificado na classificação dos mesmos, para as 22 toneladas de resíduos a serem coprocessadas a instituição terá uma economia anual de R\$ 51.700,00.

O custo de envio dos resíduos para aterro industrial Classe I, de acordo com proposta enviada pela empresa B, é de R\$ 0,55 por kg, porém para o aterramento dos mesmos é necessário agregar o peso do cimento a ser usado no encapsulamento; sendo assim, para dados mais conclusivos é necessário que se tenha uma estimativa do aumento do peso dos resíduos após o encapsulamento para a real determinação do preço final desta destinação final.

Para condução dos tratamentos internos como precipitação, neutralização e oxidação avançada é necessária a instrumentação de laboratório específico para este fim. Após cotação realizada na empresa D, foi calculado custo mínimo de instalação de R\$ 50.000,00 para aquisição dos equipamentos necessários.

A neutralização teria custo operacional praticamente nulo pois os próprios reagentes vencidos a serem destinados serão utilizados na neutralização e para reduzir ou elevar a faixa de pH nos processos de precipitação e de oxidação avançada. Pela quantidade anual de corrosivos levantada (1.360 kg), na obtenção de um laboratório para este fim, a economia a ser obtida é de R\$ 3.808,00 anuais.

A precipitação química, assim como o aterro industrial, envolve transferência de fases; dessa forma é complicado determinar exatamente qual a economia a ser obtida. Mesmo assim é nítido que se terá uma grande economia financeira e ambiental na precipitação de metais pesados, especialmente se for viável a doação do precipitado para processamento e/ou reutilização do mesmo.

Para condução de POA por foto-Fenton, o custo operacional envolve os seguintes constituintes: raios UV (fonte natural), íons ferrosos, acidificação do pH, neutralização do pH e peróxido de hidrogênio (principal reagente) o qual pode ser adquirido na concentração média de 20 %. O lodo gerado neste processo é mínimo e por isso não foi considerado no cálculo.

O custo operacional para execução deste procedimento está atrelado basicamente ao peróxido de hidrogênio a ser adquirido. Foi realizada cotação na empresa C (tabela 3), na qual o preço por kg (ou L) do reagente é R\$ 2,05. Para tratar 400 mL de efluente por este método, são necessários 100 mL em média. Assim, 1 L de peróxido de hidrogênio propicia o tratamento de 4 L de efluente e o preço final para tratamento de 1 L de resíduo/efluente se situa entre R\$ 0,51 e R\$ 0,55.

Os custos determinados através de pesquisa de mercado estão apresentados na Tabela 4:

**Tabela 4: Custo das rotas de tratamento, disposição final, equipamentos e reagentes para tratamento**

Tratamentos Externos e Produtos para os Tratamentos	Empresa	Custo
Incineração resíduos químicos diversos	A	R\$ 2,80/kg
Coprocessamento	B	R\$ 0,45/kg
Aterro Industrial Classe I	B	R\$ 0,55/kg
Aterro Classe II	B	R\$ 0,44/kg
Peróxido de Hidrogênio – Concentração de 20 à 30% m/m	C	R\$ 2,05/kg
Equipamentos detalhados	D	R\$ 50.000,00

## CONCLUSÕES

Conforme esperado, conclui-se que para minimizar custos econômicos e ambientais faz-se necessário alterar parcialmente a atual destinação final utilizada para os resíduos químicos gerados na FIOCRUZ. Atualmente, a incineração é uma destinação adequada à legislação ambiental vigente, porém muito onerosa e quando a tecnologia de incineração não é adequada, a mesma pode gerar impactos consideráveis ao meio ambiente. Nas condições atuais, para economizar o dinheiro público e minimizar os impactos ambientais devem ser adotados outros tratamentos, quando possível.

Verificou-se a partir da análise econômica que enviando metade dos resíduos químicos gerados na FIOCRUZ para coprocessamento obtém-se uma economia média de R\$ 50.000,00 anualmente. Este é o mesmo valor a ser gasto para instrumentação inicial de um laboratório para tratamento interno dos resíduos, o qual a médio e longo prazo minimizará custos e impactos ambientais. Justifica-se assim a instrumentação de laboratório para tratamento interno de parte dos resíduos, utilizando-se para tanto, a verba economizada no primeiro ano decorrente do coprocessamento dos resíduos anteriormente enviados para incineração. A partir do segundo ano, a economia obtida englobará todos os processos a serem executados paralelamente, minimizando o material a ser incinerado e consequentemente, reduzindo os impactos ambientais eventualmente gerados por este processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFONSO, J.C.; NORONHA, L.A.; FELIPE, R.P.; FREIDINGER, N.; Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. Quím. Nova, v.26, p.1-16, 2003.
2. ALBERGUINI, L.B.A.; SILVA, L.C.; REZENDE, M.O.O. Tratamento de Resíduos Químicos: Guia Prático para a Solução dos Resíduos Químicos em instituições de Ensino Superior. São Carlos: RiMa, 2005. 104p.
3. BARBOSA, D.P.; OIGMAN, S.S.; COSTA, M.A.S.; PACHECO, E.B. Gerenciamento de resíduos dos laboratórios do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro como um Projeto Educacional e Ambiental. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.28, p.114-119, 2003.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama no 358 – Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama/> Acesso em 15/09/2012.
5. CUNHA, C.J. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do Depto. de química da UFPR. Quím. Nova, v.24, p.424-427, 2001.
6. FREIRE R.S.; PELEGRINI R.; KUBOTA T.L.; DURAN N. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Química Nova, v. 23, p. 504-511, 2000.
7. MACHADO, C.X.M.P. Gestão de resíduos perigosos na FIOCRUZ: diagnóstico e aperfeiçoamento. 2010. 121 p. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
8. NOLASCO, F.R.; TAVARES, G.A.; BERDASSOLLI, J.A. Implantação de programas de gerenciamento de resíduos químicos laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações. Engenharia Sanitária Ambiental, v.11, p.118-124, 2002.



9. PACHECO, E.V.; HEMAIS, C.A.; FONTOURA, G.A.T.; RODRIGUES, F.A. Tratamento de resíduos gerados em laboratórios de polímeros: um caso bem sucedido de parceria universidade-empresa. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.11, p.118-124, 2002. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, p. 14-21, 2003.