

## A Importância do Gerenciamento de Resíduos nos Laboratórios de Pesquisa



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroenergia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

# **Documentos 11**

## **A Importância do Gerenciamento de Resíduos nos Laboratórios de Pesquisa**

*Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli  
Felipe Brandão de Paiva Carvalho  
Gislaine Ghiselli  
Ildomar Engroff dos Santos  
Lorena Costa Garcia  
Patrícia Pinto Kalil Gonçalves Costa  
Rodrigo Furtado dos Santos  
Thaís Demarchi Mendes*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agroenergia**

Parque Estação Biológica, PqEB s/n, Brasília, DF

Fone: (61) 3448-4246

Fax: (61) 3448-1589

www.cnpae.embrapa.br

sac@cnpae.embrapa.br

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: José Manuel Cabral de Sousa Dias

Secretária-Executiva: Anna Leticia M. T. Pighinelli

Membros: Larissa Andreani, Leonardo Fonseca Valadares, Maria Iara Pereira Machado.

Supervisão editorial: José Manuel Cabral de Sousa Dias

Revisão de texto: José Manuel Cabral de Sousa Dias

Normalização bibliográfica: Maria Iara Pereira Machado

Editoração eletrônica: Maria Goreti Braga dos Santos

Foto da capa: Felipe Brandão

**1ª edição**

1ª impressão (2012): 500 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Agroenergia**

---

I 34 A importância do gerenciamento de resíduos nos laboratórios de  
pesquisa / Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli ... [et al.]. Brasília, DF:  
Embrapa Agroenergia, 2012.

49 p. : il. Color ; (Documentos / Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439 ; 11).

1. Gerenciamento de resíduos - laboratórios de pesquisa. 2. Resíduos -  
classificação - segregação - acondicionamento - tratamento — destinação. 3.  
Resíduos - químicos — biológicos. 4. Programa de Gerenciamento de Resíduos -  
Embrapa Agroenergia. I. Pighinelli, Anna Leticia Montenegro Turtelli. II. Série.

628.4 – CDD 22.

# **Autores**

**Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli**  
Engenheira Agrícola, doutora em Engenharia  
Agrícola, analista da Embrapa Agroenergia,  
anna.pighinelli@embrapa.br

**Felipe Brandão de Paiva Carvalho**  
Engenheiro de Bioprocessos e Biotecnologista,  
analista da Embrapa Agroenergia,  
felipe.carvalho@embrapa.br

**Gislaine Ghiselli**  
Química Tecnológica, doutora em Química,  
analista da Embrapa Agroenergia,  
gislaine.ghiselli@embrapa.br

**Ildomar Engroff dos Santos**  
Bacharel em Administração de Empresas,  
assistente da Embrapa Agroenergia,  
ildomar.santos@embrapa.br

**Lorena Costa Garcia**

Engenheira de Alimentos, mestre em Engenharia de Alimentos, analista da Embrapa Agroenergia, lorena.garcia@embrapa.br

**Patrícia Pinto Kalil Gonçalves Costa**

Química, mestre em Química Orgânica, analista da Embrapa Agroenergia, patricia.costa@embrapa.br

**Rodrigo Furtado dos Santos**

Engenheiro Agrônomo, mestre em Agronomia, analista da Embrapa Agroenergia, rodrigo.santos@embrapa.br

**Thaís Demarchi Mendes**

Bióloga, mestre em Microbiologia Aplicada, analista da Embrapa Agroenergia, thais.mendes@embrapa.br

# Apresentação

Após anos de negligência com o gerenciamento de resíduos perigosos gerados nos laboratórios das universidades ou das instituições de pesquisa, observa-se nos dias de hoje uma crescente preocupação com tais resíduos. Esses resíduos merecem uma preocupação especial devido à complexidade dos seus compostos, e principalmente por apresentarem vários níveis de toxicidade e características físico-químicas ou bioquímicas muito distintas.

A presente publicação tem como objetivo apresentar as linhas básicas que devem ser seguidas para a implementação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos. A proposta aqui apresentada é resultado de experiências reunidas na literatura, bem como daquela vivenciada e aprimorada na Embrapa Agroenergia.

*Manoel Teixeira Souza Júnior*  
Chefe-Geral



# Sumário

<b>A Importância do Gerenciamento de Resíduos nos Laboratórios de Pesquisa.....</b>	<b>9</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>Implementação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos (PGR).....</b>	<b>11</b>
<b>Classificação e Segregação de Resíduos.....</b>	<b>14</b>
Classificação de Resíduos .....	14
Segregação de Resíduos .....	16
<b>Minimização de Resíduos Químicos.....</b>	<b>17</b>
<b>Tratamento de Resíduos.....</b>	<b>18</b>
Neutralização de Ácidos e Bases Inorgânicas .....	19
Precipitação de Metais Pesados .....	21
Tratamento de Resíduos Biológicos .....	23
<b>Destinação Final de Resíduos .....</b>	<b>25</b>
Destinação final - Tratamentos .....	26
Compostagem.....	26
Incineração .....	27

Coprocessamento .....	29
Disposição Final.....	29
Aterro sanitário classe II .....	29
Aterro sanitário classe I .....	30
Rede de esgoto .....	30
<b>PGR na Embrapa Agroenergia .....</b>	<b>30</b>
Classificação e Segregação de Resíduos na Embrapa Agroenergia .....	35
Segregação de Resíduos Químicos .....	36
Segregação de Resíduos Biológicos .....	41
Destinação Final de Resíduos na Embrapa Agroenergia .....	44
<b>Conclusão .....</b>	<b>44</b>
<b>Referências .....</b>	<b>46</b>

# **A Importância do Gerenciamento de Resíduos nos Laboratórios de Pesquisa**

---

*Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli*

*Felipe Brandão de Paiva Carvalho*

*Gislaine Ghiselli*

*Ildomar Engroff dos Santos*

*Lorena Costa Garcia*

*Patrícia Pinto Kalil Gonçalves Costa*

*Rodrigo Furtado dos Santos*

*Thaís Demarchi Mendes*

## **Introdução**

É de conhecimento geral que os resíduos laboratoriais podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, levando à poluição de águas, solos e ar. No entanto, por muitos anos, o gerenciamento dos resíduos foi descuidado pelas universidades e instituições de pesquisas, sendo que as discussões acerca deste assunto tiveram início apenas a partir dos anos 90. A ausência de fiscalização, o descarte inadequado e a falta de consciência ambiental levaram muitos centros de pesquisa a poluírem o ambiente inadvertidamente. Durante muito tempo os resíduos foram jogados na pia dos laboratórios sem qualquer preocupação com a segurança humana e do ambiente (AFONSO et al., 2003).

Nos últimos anos, é crescente a preocupação não só com os diversos tipos, mas também com o volume dos resíduos gerados nos laboratórios. O aumento das pesquisas e também das publicações

sobre o tema “Gerenciamento de Resíduos” evidencia a importância da criação de um sistema de segregação, acondicionamento, tratamento e destinação de resíduos nas instituições de pesquisa (SILVA et al., 2010).

Neste contexto, alguns aspectos devem ser levados em consideração para o gerenciamento de resíduos, dentre eles: segregar ou concentrar os diferentes grupos de resíduos de modo a tornar viável seu gerenciamento tanto do ponto de vista prático, como do ponto de vista econômico; armazenar o resíduo de forma adequada, estocando-o pelo menor tempo possível; e dispor o resíduo de maneira segura e em local apropriado.

Cabe ressaltar, que os resíduos gerados podem se tornar perigosos passivos ambientais em razão do grande volume e das condições inadequadas de segregação e armazenamento. Recomenda-se que a destinação final seja feita o mais rapidamente possível. Outra questão de extrema importância é a adoção de práticas que minimizem a geração de resíduos, como a questão referente à compra de reagentes em excesso, que quase sempre resulta no descarte de boa parte desses (SILVA et al., 2010).

Assim, o estabelecimento de um Programa de Gerenciamento de Resíduos – PGR é uma excelente oportunidade de aprendizagem, treinamento e sensibilização para os funcionários e colaboradores, nas indústrias e centros de pesquisa, e para alunos, professores e técnicos, nas universidades. Entretanto, é muito importante que a unidade geradora esteja realmente disposta a implementar e sustentar o programa de gerenciamento de resíduos, pois o insucesso de uma primeira tentativa, via de regra, desacredita tentativas posteriores (JARDIM, 1998).

A Embrapa Agroenergia vem trabalhando na implementação do PGR. Desta forma, este documento tem como objetivo principal mostrar como se deu esse processo e também todas as etapas necessárias para que o gerenciamento de resíduos seja bem conduzido.

## **Implementação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos (PGR)**

Para uma correta e bem sucedida implementação e manutenção de um Programa de Gerenciamento de Resíduos deve-se, inicialmente, internalizar três conceitos importantes. O primeiro deles é saber que gerenciar resíduos de laboratórios de pesquisa não significa “geração zero de resíduo”, mas sim um trabalho constante de minimização da quantidade de resíduos perigosos que são, inevitavelmente, gerados. O segundo conceito enfatiza que o gerenciamento só pode ser feito se houver conhecimento do resíduo que está sendo gerado. Dessa forma, é necessário elaborar e atualizar, periodicamente, um inventário contendo todos os resíduos gerados nos laboratórios de pesquisa. Por fim, o terceiro conceito diz respeito à responsabilidade objetiva do gerador do resíduo, ou seja, o gerador do resíduo é o responsável por ele até a sua disposição final (JARDIM, 1998).

A eficiência de um PGR está diretamente relacionada com o princípio da responsabilidade objetiva, no qual o gerador do resíduo é o responsável pelo seu correto tratamento e descarte (individual ou coletivo), bem como à adoção da política dos 3Rs: reduzir, reutilizar e reciclar. Para isto, algumas premissas devem ser seguidas (LASSALI et al., [200-?]; PAIM et al., 2002).

- Prevenção na geração do resíduo. Quanto menor o volume gerado, mais fácil é o seu tratamento.
- Segregação sempre que necessária, aumentando a segurança sob o ponto de vista químico e facilitando o gerenciamento e tratamento do resíduo.
- Identificação dos resíduos (rotulagem), facilitando o gerenciamento e diminuindo o tempo e custo para a tomada de decisões.
- Reciclagem e reutilização interna e externa, diminuindo os custos com a compra de reagentes e reduzindo o volume do resíduo.

- Tratamento do resíduo na fonte geradora. Sempre que possível esta prática deve ser adotada, pois reduz a infraestrutura necessária para seu tratamento coletivo.
- Armazenamento e disposição de modo correto, diminuindo os riscos químicos associados ao processo de gerenciamento de resíduos.

Quando um PGR é colocado em prática faz-se necessário diferenciar dois tipos de resíduos: o **ativo** e o **passivo** (PAIM et al., 2002). O ativo é o resíduo gerado continuamente em decorrência das atividades de rotina e/ou pesquisa, ou seja, é o principal alvo do PGR. O passivo compreende todo o resíduo que já foi gerado na Unidade, cuja caracterização visa sempre que possível, o reaproveitamento, o reciclo, o tratamento adequado e a destinação final. Muitas vezes o passivo não foi caracterizado e a realização desta tarefa nem sempre é possível, embora alguns trabalhos descrevam metodologias de simples aplicação (MURPHY et al., 1991). Resíduos ativos são, em geral, mais facilmente inventariados, caracterizados e gerenciados do que o passivo. Para inventariar o ativo, a equipe responsável por cada laboratório deve mapear o seu processo analítico (descrever, roteirizar, detalhar de forma gráfica e/ou analítica todas as etapas, os insumos e reagentes utilizados e os produtos de reações, bem como as pessoas envolvidas nesse procedimento de análise) e identificar as matérias-primas e pontos geradores de resíduos, documentando todos os procedimentos na forma de procedimentos operacionais padrão (POP) ou instruções de trabalho (IT).

Outro ponto importante é que o PGR é uma tarefa que envolve vários setores de uma instituição e não só o setor gerador do resíduo. Deve haver envolvimento de setores de compra e armazenamento de reagentes. Isso porque além dos resíduos gerados de uma atividade de pesquisa, são considerados resíduos os reagentes em estoque com prazo de validade expirado e que não podem mais ser utilizados na rotina laboratorial.

O responsável pelo almoxarifado deve manter uma lista atualizada do estoque e o prazo de validade dos materiais, evitando pedidos de compras duplicados. O responsável pelas compras deve elaborar um cronograma com as datas das compras, para que os usuários dos laboratórios possam se programar de forma a não gerar um estoque excessivo de reagentes por receio da compra não ser feita ou por não saber quando uma nova compra será realizada. Funcionários do setor de pesquisa devem organizar suas listas de compras considerando o que já existe em estoque, otimizando assim a quantidade a ser comprada para seus experimentos e evitando a geração de resíduos. Os usuários dos laboratórios devem buscar adaptar metodologias visando à diminuição dos volumes de reagentes empregados em seus experimentos de forma a gerar menos resíduos.

É, portanto, imprescindível o apoio institucional ao programa, bem como a conscientização e o engajamento de todas as partes envolvidas. Nesse contexto, cabe ressaltar que a implementação de um PGR é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, já que exige, acima de tudo, mudança de atitudes (SILVA et al., 2010). A figura 1 resume a hierarquia na gestão de resíduos.

### **A HIERARQUIA NA GESTÃO DE RESÍDUOS**

1. Prevenir
2. Minimizar os inevitáveis
3. Segregar e concentrar
4. Reutilizar
5. Reciclar
6. Manter o resíduo estocado numa forma passível de ser tratada
7. Tratar e dispor de maneira segura

Figura 1. Adaptado de JARDIM et al. (1998).

## Classificação e Segregação de Resíduos

### Classificação de Resíduos

Classificar resíduos significa distribuí-los em classes ou grupos de acordo com as suas características. Geralmente essa classificação é feita com base em normas legais existentes.

A classificação dos resíduos químicos (líquidos e sólidos) geralmente é baseada na norma NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essa norma define que a classificação do resíduo sólido (sólidos, líquidos e semissólidos, segundo a mesma) fundamenta-se na identificação do processo ou atividade que lhe deu origem, de seus constituintes e características, bem como na comparação desses constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A tabela 1 apresenta essa classificação de forma resumida.

**Tabela 1.** Classificação de resíduos sólidos segundo a NBR 10004:2004

CLASSE	CARACTERÍSTICA
I – Perigoso	Resíduos que apresentam pelo menos uma das características de periculosidade: inflamabilidade, reatividade, corrosividade, toxicidade e patogenicidade. Esses resíduos não devem ser descartados no ambiente, devem ser acondicionados e armazenados temporariamente, até serem destinados à incineração em empresa ou instituição autorizada e/ou dispostos em aterros especialmente desenhados para recebê-los.
IIA – Não Perigoso e Não Inerte	Resíduos que não apresentam perigo, mas que exigem atenção quanto ao seu conteúdo. Esses resíduos podem ser dispostos em aterros sanitários ou reutilizados/reciclados, após avaliação.
IIB – Não Perigoso e Inerte	Resíduos que não apresentam perigo e são inertes. Esses resíduos podem ser dispostos em aterro sanitário ou podem ser reciclados.

Para os resíduos biológicos é comum usar como referência as normas sobre o Gerenciamento de Resíduos dos Serviços de Saúde, uma vez que não há uma lei (federal, estadual ou municipal) específica para este tipo de resíduo. A Resolução RDC 306/2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Resolução 358/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são os documentos-base comumente utilizados em um PGR Biológico. A Tabela 2 apresenta de forma sucinta a classificação desses resíduos segundo as Resoluções anteriormente citadas.

**Tabela 2.** Classificação de resíduos dos serviços de saúde segundo Resoluções ANVISA RDC 306/2004 e CONAMA 358/2005

GRUPO	CARACTERÍSTICA
<b>A</b> Resíduo Biológico ou contaminado por Agente Biológico	Resíduos que possuem agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. Este grupo se subdivide em cinco categorias: A1, A2, A3, A4 e A5.
<b>B</b> Resíduo Orgânico ou contaminado por Químicos Perigosos	Resíduos biológicos que contêm substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.
<b>C</b> Resíduo Orgânico contendo Rejeito Radioativo	Materiais resultantes de atividades humanas que contêm radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista. Os rejeitos radioativos não podem ser considerados resíduos até que seja decorrido o tempo de decaimento necessário para atingir o limite de eliminação.

Continua...

Tabela 2. Continuação

GRUPO	CARACTERÍSTICA
<b>D</b> Resíduo Comum	Resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
<b>E</b> Materiais Perfurocortantes ou Escarificantes	Lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, tubos capilares, micropipetas, lâminas e lamínulas, espátulas e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri), dentre outros similares.

Laboratórios que trabalham com organismos geneticamente modificados (OGM), ao descartarem seus resíduos biológicos, devem seguir a Lei nº 11.105 de 2005, que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam OGM e seus derivados, bem como as Instruções Normativas CTNBio 4/1996 e CTNBio 17/1998 e a Resolução Normativa 2/2006, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

Toda Unidade que utiliza técnicas e métodos de engenharia genética deve criar uma Comissão Interna de Biossegurança (CIBio), além de indicar um técnico principal responsável para cada projeto específico. A CIBio recomendará a cada laboratório a elaboração do procedimento para descarte do resíduo contendo o OGM, de acordo com a legislação vigente (PENHA et al., 2010).

## Segregação de Resíduos

Segregar resíduos consiste na separação dos mesmos em categorias para facilitar e dinamizar os trabalhos de minimização, tratamento e destinação final (MACHADO; SALVADOR, 2005). Para uma

correta segregação é primordial saber informações sobre toxicidade, reatividade e compatibilidade das substâncias químicas. Essas informações podem ser encontradas no MSDS (Material Safety Data Sheets) ou na FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos). Deve-se sempre levar em conta que resíduos incompatíveis podem gerar gases tóxicos, calor excessivo, reações químicas violentas e, até mesmo, explosões.

## Minimização de Resíduos Químicos

Na minimização de resíduos químicos o objetivo principal é evitar, tanto quanto possível, a geração de resíduos. São destacados a seguir alguns procedimentos simples que podem ser realizados a fim de diminuir a quantidade de produtos residuais (PAIM et al., 2002):

**Substituições:** sempre que possível, substituir produtos perigosos ou tóxicos por outros de menor risco. Esse é o melhor caminho para minimizar, por exemplo, o uso de solventes. As substituições são atitudes que se enquadram nos conceitos de Tecnologias Limpas, por exemplo, pode-se substituir a solução de ácido sulfocrômico por alcanox para a limpeza ou ainda a substituição de termômetros de mercúrio por termômetros de álcool. Também se enquadram neste conceito a realização de experimentos em meio aquoso em substituição aos solventes tóxicos, a utilização de solventes em estado supercrítico ( $\text{CO}_2$ ) para a extração, a substituição de solventes clorados por solventes perfluorados (pois estes apresentam menor volatilidade, maior estabilidade, e menor toxicidade) e reações em estado sólido ou em fase sólida.

**Microquímica:** o uso de quantidades menores de reagentes, sem o comprometimento da eficácia das técnicas. Isto é possível a partir do momento que se torna fácil e barato a aquisição de equipamentos adequados. Um bom exemplo disto é a aquisição e utilização de micropipetas e microburetas, ao invés do uso das tradicionais aparelhagens de titulação.

**Reuso/Reciclagem:** entende-se por reuso a utilização do resíduo como insumo, sem que o mesmo sofra qualquer pré-tratamento. Os produtos de reuso podem ser distribuídos para outros laboratórios em diferentes áreas da Unidade. O reciclo envolve o uso do material após algum tipo de tratamento.

**Redestilação:** também é uma técnica a ser considerada em laboratórios que utilizam, como rotina, solventes que permitam este procedimento. Frequentemente é suficiente a destilação de determinados solventes em evaporador rotatório evitando, contudo, a aplicação para solventes com baixo ponto de ebulição que podem contaminar e poluir o ar atmosférico.

## **Tratamento de Resíduos**

O tratamento de resíduos é uma das principais operações antes da destinação final dos mesmos. Este procedimento visa diminuir problemas de toxicidade, contaminação e agressão ao meio ambiente. Muitos produtos classificados como perigosos podem, mediante reações de neutralização e inativação, ser reaproveitados (reciclagem) ou mesmo descartados, pois já não oferecem mais perigo (PAIM et al., 2002).

Via de regra, os resíduos perigosos e não perigosos que são passíveis de destruição/neutralização devem ser tratados no próprio laboratório, para posterior descarte na pia. É sempre mais fácil e menos perigoso o tratamento de pequenas quantidades de resíduos, devendo sempre ser executado por pessoas treinadas, em capelas de exaustão e munidas de seus EPIs (KUNZ et al., 2004; MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]).

Sugere-se ainda que esses procedimentos sejam anexados às metodologias de análises, no sentido de fazer com que os responsáveis pelas rotinas de laboratório tenham o entendimento de que a destruição do resíduo faz parte do procedimento de análise (KUNZ, et al, 2004).

Mesmo sob um rígido PGR, um laboratório pode descartar vários tipos de resíduos na rede de esgoto, contanto que atendam à Resolução CONAMA 357/2005 ou qualquer outra legislação estadual ou municipal mais restritiva, se houver (JARDIM, 2012).

Substâncias solúveis em água (pelo menos 0,1g ou 0,1mL/3mL) e com baixa toxicidade podem ser descartadas na rede de esgoto, mas somente após diluição (no mínimo de 100 vezes) e sob água corrente. Para substâncias orgânicas é preciso também que sejam facilmente biodegradáveis, sendo a quantidade máxima recomendável, por dia, de 100g ou 100mL. Misturas contendo substâncias pouco solúveis em água podem ser descartadas na pia, desde que a concentração esteja abaixo de 2% (MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]). A figura 5 lista algumas substâncias que podem ser descartadas como lixo comum.

## **Neutralização de Ácidos e Bases Inorgânicas**

Desde que não estejam presentes substâncias químicas perigosas incineráveis, resíduos aquosos contendo substâncias com características ácido-base podem ser tratados por simples neutralização. Por definição, uma substância apresenta caráter ácido se for capaz de alterar o pH da água de forma a diminuí-lo ( $\text{pH} < 6$ ), enquanto que apresenta caráter básico se for capaz de alterar o pH da água de forma a aumentá-lo ( $\text{pH} > 8$ ) (MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]; UNESP, 2002; UNICAMP, 2005).

Resíduos ácidos são geralmente neutralizados empregando-se soda cáustica comercial (hidróxido de sódio impuro, NaOH) ou mistura de bicarbonato de sódio e carbonato de cálcio ( $\text{NaHCO}_3/\text{CaCO}_3$ ). Para soluções extremamente ácidas, como mistura sulfonítrica, por exemplo, deve-se utilizar cal (óxido de cálcio impuro, CaO) (MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]; UNESP, 2002; UNICAMP, 2005).

### **SUBSTÂNCIAS QUE PODEM SER DESCARTADAS NA PIA OU LIXO COMUM**

- Soluções diluídas<sup>1</sup> de álcoois (com menos de 5 carbonos<sup>2</sup>) solúveis em água
- Sulfatos, fosfatos e carbonatos de sódio, potássio, magnésio, cálcio, estrôncio, bário e amônio
- Cloretos de sódio, potássio e magnésio
- Fluoretos de cálcio
- Boratos de sódio, potássio, magnésio e cálcio
- Óxidos de boro, magnésio, cálcio, estrôncio, silício, titânio, manganês, cobre, zinco alumínio, ferro e cobalto
- Ácidos e bases inorgânicos após neutralização
- Soluções de proteínas, aminoácidos, açúcares e seus álcoois, incluindo padrões
- Sais de ocorrência natural: ácido cítrico e seus sais de sódio, potássio, cálcio e amônio – ácido láctico e seus sais de sódio, potássio, cálcio e amônio
- Soluções-tampão
- Lixo em geral não contaminado com produtos químicos

*1) Entende-se como diluída, solução com < 1% de soluto;*

*2) Embora o metanol seja um álcool com 1 carbono, não pode ser descartado na pia (tóxico).*

**Figura 5.** Exemplos de substâncias que podem ser descartadas na pia ou no lixo comum

Resíduos básicos são geralmente neutralizados empregando-se ácidos comerciais como o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou clorídrico (HCl). Em geral são usadas soluções diluídas desses ácidos, preparadas a partir do reagente concentrado (MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]; UNESP, 2002; UNICAMP, 2005).

O tratamento de resíduos ácidos ou básicos segue o mesmo procedimento: as soluções concentradas devem ser diluídas até a obtenção de uma solução com 50% de água, ajustando-se em seguida o pH entre 6 e 8. No caso de soluções diluídas procede-se apenas com o ajuste do pH entre 6 e 8. Para sólidos ou pastas, deve-se misturar o resíduo com o mesmo volume de água, seguido do ajuste do pH entre 6 e 8. (MACHADO; SALVADOR, 2005; LASSALI et al., [200-?]).

As reações de neutralização devem ser procedidas com cuidado, pois algumas são muito exotérmicas (usar gelo, quando possível e necessário). Portanto, devem ser efetuadas com extrema cautela pelos usuários dos laboratórios, e com o maior conhecimento de segurança em química (PAIM et al., 2002).

Durante a neutralização do resíduo é aconselhável que se utilize gotas do indicador fenolftaleína ou papel indicador, para garantir que o pH da solução resultante situe-se entre 6 e 8. Pode-se também realizar esse monitoramento com o auxílio de um eletrodo de pH. Após a neutralização, o resíduo deve ser descartado na pia lentamente, sob água corrente. Se houver sobra de material sólido, deve-se verificar se o mesmo pode ser descartado no lixo, caso contrário, deverá ser acondicionado no laboratório, para posterior descarte ou tratamento (LASSALI et al., [200-?]; UNESP, 2002).

## **Precipitação de Metais Pesados**

Desde que não estejam presentes substâncias químicas perigosas incineráveis, resíduos aquosos contendo metais pesados podem ser tratados por precipitação. A maioria dos íons metálicos é precipitada

como hidróxido ou óxido, em elevado pH. Contudo, vários precipitados se redissolvem em excesso de base e, por isso, é imprescindível o controle do pH durante o tratamento. Outros poucos formam precipitados apenas como sulfetos, como é o caso do mercúrio (PAIM et al., 2002; UNESP, 2002; UNICAMP, 2005).

Por conta das particularidades dos metais no processo de precipitação, é muito importante que a segregação dos mesmos seja feita. Resíduos contendo cádmio, mercúrio e chumbo, por exemplo, devem ser separados dos demais. Outro inconveniente está na dificuldade em se filtrar soluções fortemente alcalinas. Entretanto, as soluções quentes contendo 5% de hidróxido de sódio podem ser filtradas usando-se papel de filtro qualitativo (UNICAMP, 2005).

Tampões fosfato, amplamente empregados nos laboratórios, devem ser considerados poluentes, pois o fosfato contribui para a eutrofização dos rios e para a diminuição da oxigenação da água. Portanto, sugere-se que os tampões fosfato sejam usados para a estocagem de metais pesados. A solução de fosfato deve ter o seu pH elevado para 10 e em seguida adicionada à solução contendo os metais pesados, permitindo a formação do precipitado (LASSALI et al., [200-?]).

A precipitação dos metais deve ser feita em capela, utilizando-se recipiente grande e preferencialmente transparente. No resíduo contendo o metal é feita a adição do agente precipitante (geralmente soda cáustica) para a formação dos hidróxidos insolúveis; ou óxido de cálcio (CaO) para os metais que precipitam como sal de cálcio; ou sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) para a formação dos sulfetos insolúveis (UNICAMP, 2005).

Após a precipitação, recomenda-se que o precipitado seja decantado e posteriormente o sobrenadante seja sifonado. Deve-se verificar a eficiência da precipitação realizando-se um teste no sobrenadante que foi separado, observando-se se o mesmo está isento do(s) metal(is)

pesado(s). Para isso, basta adicionar uma nova quantidade do agente precipitante e observar se há formação de precipitado. Em caso negativo (precipitação eficiente), deve-se neutralizar o sobrenadante ajustando o seu pH entre 6 e 8 e descartá-lo na pia, sob água corrente (UNICAMP, 2005; LASSALI et al., [200-?]).

O material decantado contendo o metal pesado deve ser filtrado, utilizando-se papel de filtro qualitativo (o uso de vácuo é opcional). Em seguida, o papel de filtro deve ser colocado sobre uma bandeja de alumínio (ou assadeira) coberta com folha de papel alumínio e o conjunto levado em estufa para que o resíduo sólido seja seco. (UNICAMP, 2005). Após secagem, o resíduo sólido deve ser embalado e rotulado corretamente e disposto provisoriamente no laboratório ou encaminhado para um local apropriado, até que sejam tomadas providências quanto à sua disposição final (aterro classe I).

A Tabela 3 apresenta as faixas de pH recomendadas para a precipitação de vários cátions (não apenas os considerados metais pesados) em seu estado de oxidação mais comum (UNICAMP, 2005).

## **Tratamento de Resíduos Biológicos**

De acordo com a Resolução ANVISA RDC 306/2004, o tratamento de resíduo biológico consiste na aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos inerentes aos mesmos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de dano ao meio ambiente. O tratamento pode ser aplicado no próprio estabelecimento gerador ou em outro estabelecimento, observadas nestes casos, as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento gerador e o local do tratamento.

O processo de autoclavagem aplicado em laboratório para a redução da carga microbiana de culturas e estoques de microrganismos está dispensado de licenciamento ambiental, ficando sob a responsabilidade

**Tabela 3.** Faixas de pH para a precipitação de íons metálicos (hidróxidos ou óxidos).

CÁTION	NOME	FAIXA DE pH	NOTAÇÃO*
Ag <sup>1+</sup>	prata	> 9	1M
As <sup>3+</sup>	arsênio III	precipita como sulfeto	---
As <sup>5+</sup>	arsênio V	precipita como sulfeto	---
Ba <sup>2+</sup>	bário	---	---
Be <sup>2+</sup>	berílio	7 – 8	---
Cd <sup>2+</sup>	cádmio	> 7	1M
Co <sup>2+</sup>	cobalto	> 8	1M
Cr <sup>3+</sup>	cromo III	> 7	1M
Cu <sup>1+</sup>	cobre I	> 9	1M
Cu <sup>2+</sup>	cobre II	> 7	1M
Hg <sup>1+</sup>	mercúrio I	> 8	1M
Hg <sup>2+</sup>	mercúrio II	> 8	1M
Mn <sup>2+</sup>	manganês II	> 8	1M
Mn <sup>4+</sup>	manganês IV	> 7	1M
Mo <sup>6+</sup>	molibdênio	precipita como sal de Ca	---
Ni <sup>2+</sup>	níquel	> 8	1M
Os <sup>4+</sup>	ósmio	7 – 8	---
Pb <sup>2+</sup>	chumbo II	7 – 8	---
Sb <sup>3+</sup>	antimônio III	7 – 8	---
Sb <sup>5+</sup>	antimônio V	7 – 8	---
Se <sup>4+</sup>	selênio IV	precipita como sulfeto	---
Se <sup>6+</sup>	selênio VI	precipita como sulfeto	---
Sn <sup>2+</sup>	estanho II	7 – 8	---
Sn <sup>4+</sup>	estanho IV	7 – 8	---
Ta <sup>5+</sup>	tálio	1 – 10	---
Te <sup>4+</sup>	selênio IV	precipita como sulfeto	---
Te <sup>6+</sup>	selênio VI	precipita como sulfeto	---
V <sup>4+</sup>	vanádio IV	7 – 8	---
V <sup>5+</sup>	vanádio V	7 – 8	---
Zn <sup>2+</sup>	zinco	7 – 8	---

\* A notação "1M" indica que o precipitado formado não se dissolverá em hidróxido de sódio 1 mol.L<sup>-1</sup> (pH 14) (UNICAMP, 2005).

dos serviços que as possuem, a garantia da eficácia dos equipamentos mediante controles químicos e biológicos periódicos devidamente registrados.

Demais sistemas para tratamento de resíduos de serviços de saúde, dos quais os resíduos biológicos estão inseridos, devem ser objeto de licenciamento ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA 237/1997 e são passíveis de fiscalização e de controle pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente. Já os sistemas de tratamento térmico por incineração devem obedecer ao estabelecido na Resolução CONAMA 316/2002.

## **Destinação Final de Resíduos**

A Lei 12.305 de agosto de 2010 define destinação final de resíduos como reutilização, compostagem, reciclagem, recuperação e aproveitamento energético. Também são aceitas outras destinações admitidas por órgãos competentes, incluindo a disposição final de resíduos, que nada mais é que a distribuição ordenada em aterros, de acordo com normas operacionais específicas.

A destinação adequada dos resíduos é baseada na classificação de resíduos sólidos da NBR 10004:2004. Resíduos Classe II, ou não perigosos, podem ser encaminhados para processos que visem seu aproveitamento como matéria-prima, entre eles a reciclagem, compostagem e geração de energia, ou podem ser dispostos definitivamente em aterros Classe II ou rede de esgoto. A destinação final de resíduos Classe I, ou perigosos, deve estar de acordo com normas e procedimentos exigidos pelo órgão estadual de proteção ambiental. Dependendo das normas exigidas pelo Estado, os resíduos Classe I podem ser tratados visando a recuperação de compostos, podem ser incinerados, coprocessados junto a indústrias cimenteiras ou dispostos definitivamente em aterros Classe I.

Devido à natureza de suas atividades, grande parte dos resíduos

gerados em um laboratório, seja ele de pesquisa, ensino ou de prestação de serviços é enquadrada na Classe I, o que impossibilita sua simples destinação em aterros classe II ou rede de esgoto. Na maioria das vezes, os laboratórios optam por terceirizar a destinação final desses resíduos, encaminhando-os para empresas especializadas. Tais empresas devem possuir licença e autorização dos órgãos competentes de controle e fiscalização ambiental federal e estadual. Estas empresas, então, conduzirão adequadamente os resíduos ao seu destino final. Apesar do encaminhamento dos resíduos a terceiros, a responsabilidade pelo transporte e disposição final dos resíduos continua sendo da unidade geradora. Caso o resíduo gerado, mesmo em posse da empresa especializada, seja causador de dano ambiental, a unidade geradora terá agido com culpa por não ter dado destinação adequada a seus resíduos.

Nos itens a seguir serão abordadas as principais tecnologias de destinação e disposição final de resíduos.

## **Destinação final - Tratamentos**

Anteriormente à disposição final, diversos tratamentos podem ser aplicados de maneira a diminuir o potencial poluidor dos resíduos e torná-los menos impactantes ao ambiente. Tais processos podem promover o aproveitamento dos resíduos, redução da periculosidade, diminuição de volume, inativação e destruição. Os processos abordados nos próximos tópicos são, em geral, realizados por terceiros, fora da unidade geradora.

## **Compostagem**

A compostagem é um processo biológico natural de fermentação dos resíduos orgânicos, realizado pela própria microbiota existente no material orgânico residual. Esses resíduos, após a ação dos microrganismos, são transformados em húmus, que pode ser utilizado como adubo orgânico para a agricultura. Embora a compostagem natural seja um processo lento e que demanda grandes áreas para

a sua realização, ela pode ser acelerada através de técnicas como o confinamento e dispersão de ar. A compostagem acelerada, no entanto, necessita de um constante monitoramento do processo e, também em consequência disso, apresenta um custo bem mais elevado (SILVA; ANDREOLI, 2010).

## **Incineração**

A incineração é o processo de combustão controlada que visa à destruição térmica dos resíduos a ela submetidos. Em consequência da queima da matéria orgânica, há uma redução entre 70% e 90% do volume inicial, além da redução dos níveis de periculosidade dos resíduos, já que ocorre, por exemplo, a eliminação de microrganismos patogênicos (HENRIQUE; ERBOLATO, 2004).

A incineração não é um método a ser utilizado com todos os tipos de materiais. Resíduos como solventes, óleos, emulsões, plásticos, resíduos hospitalares que contenham microrganismos, pesticidas, farmacêuticos, graxas que apresentam uma quantidade significativa de compostos orgânicos, são adequados para o processo em questão. Já resíduos que não tenham uma quantidade significativa de orgânicos em sua composição, sejam altamente explosivos ou com níveis de radioatividade acima do permitido, não podem ser incinerados, devendo ser tratados e encaminhados para uma disposição adequada.

O processo de incineração comumente utilizado ocorre em dois estágios. Na primeira etapa, o resíduo é recebido e encaminhado para a câmara primária do reator, onde será queimado em uma temperatura tal que algumas substâncias se tornem gases (gaseificação/volatilização), enquanto outras assumam a forma de pequenos particulados, transformados em cinzas e escória dos resíduos (PAIM et al., 2002).

Durante a etapa de incineração, inicialmente os resíduos são secos a temperatura próxima de 150°C, onde o teor de água é reduzido para tornar a combustão mais eficiente. Em seguida, a temperatura

é elevada para permitir que ocorram as etapas de volatilização e combustão, podendo a temperatura ultrapassar 800°C. É importante que, durante essa etapa, seja fornecido oxigênio em quantidade adequada e de maneira homogênea, de forma a expor o resíduo em sua totalidade ao calor (MORGADO; FERREIRA, 2006).

As cinzas e os resíduos sólidos remanescentes são depositados e, posteriormente, recolhidos do fundo do reator (região comumente chamada de cinzeiro), enquanto os gases, vapores e material particulado em suspensão são encaminhados à câmara secundária ou câmara de combustão (que representa a segunda etapa da incineração), onde são expostos a temperaturas superiores a 1000°C durante um tempo de exposição muito baixo (2 a 3 segundos), mas suficiente para que haja combustão completa (CARDOSO, 2001).

Os diversos gases gerados na câmara primária são oxidados a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O em uma atmosfera altamente oxidante (excesso de oxigênio), e seguem para um último sistema de limpeza de gases (composto, dentre outros componentes, de filtros para remoção de poeira e partículas finas) antes de serem liberados na atmosfera. Os resíduos sólidos, já esterilizados em virtude das temperaturas e que representam por volta de 20% do peso inicial do resíduo, podem ser enviados para aterros sanitários ou podem ser utilizados para outros fins, como por exemplo, a construção civil (MORGADO; FERREIRA, 2006).

A incineração pode ser uma solução ambientalmente correta para a destinação dos resíduos gerados em laboratórios, se os equipamentos utilizados neste processo forem submetidos à correta operação e manutenção. Manter um rígido controle, durante todas as etapas do processo, sobre as principais variáveis técnicas (temperatura, turbulência do leito, tempo de residência e disponibilidade de oxigênio) tende a garantir melhor qualidade da combustão (combustão completa) de forma a minimizar a formação de resíduos indesejados ao final desse processo.

## **Coprocessamento**

Assim como na incineração, no coprocessamento os resíduos são destruídos devido ao emprego de altas temperaturas. Nesta técnica, o potencial energético dos resíduos é aproveitado como complementar ou substituinte do aporte energético na indústria cimenteira ou reaproveitado como matéria-prima, quando os resíduos apresentam características similares às dos componentes empregados na produção de cimento. Além da destruição do resíduo ser total, nesse processo as cinzas podem ser incorporadas à matriz do cimento, eliminando a necessidade de disposição em aterros classe I. Ressalta-se que não são todos os resíduos que podem ser coprocessados, são proibidas a queima de organoclorados, lixo urbano, radioativo e hospitalar (MAZZER; CAVALCANTI, 2004).

## **Disposição Final**

Mesmo após sofrer algum tipo de tratamento, muitos resíduos ainda deixam rejeitos que precisam ser dispostos em locais apropriados. A disposição final, segundo a Lei nº 12.305 de agosto de 2010, engloba a distribuição final ordenada de rejeitos em aterros ou rede de esgoto, observando normas específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública.

## **Aterro sanitário classe II**

Consiste do local de disposição final de resíduos classe II. Nos aterros classe II, empresas especializadas são responsáveis pelo transporte e correto acondicionamento em áreas adequadas e preparadas para o recebimento dos resíduos recolhidos. Essas empresas devem seguir normas estabelecidas pelos órgãos responsáveis e devem receber a autorização dos mesmos para a realização das atividades. A disposição em aterros, no entanto, tem se tornado cada vez mais problemática, à medida que demanda grandes áreas, normalmente distantes dos grandes centros geradores de resíduos, o que encarece o processo de coleta, além de exigir um cuidado especial no que diz respeito às

questões ambientais de contaminação de solos e lençóis freáticos, por exemplo (PAIM et. al., 2002; SILVA; ANDREOLI, 2010).

### **Aterro sanitário classe I**

É destinado à disposição final de resíduos classe I. Nestes aterros podem ser dispostos cinzas de incineradores e demais resíduos perigosos, como os inflamáveis, tóxicos, etc. O aterro deve possuir cobertura total, de modo a evitar a formação de percolado devido à incidência das águas pluviais. Possui ainda um sistema de dupla impermeabilização com manta de polietileno de alta densidade (PEAD), o que garante que o material depositado não atinja o solo abaixo do aterro e os lençóis de águas subterrâneas. Desta maneira, é permitida a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais. Tais aterros devem estar em conformidade com a NBR 8418 e NBR 10157 que define as exigências quanto aos critérios de projeto, construção e operação de aterros industriais classe I (LIMA, 2007).

### **Rede de esgoto**

A disposição final de resíduos na rede de esgoto é regulamentada pela resolução CONAMA 430/2011. Na rede de esgoto e na estação de tratamento, o resíduo passa por uma série de transformações, sejam elas químicas, físicas ou biológicas. Processos físicos incluem a diluição, a mistura com outros materiais, a volatilização e adsorção dos compostos. Processos químicos incluem uma vasta gama de reações de hidrólise e oxidação/redução. A degradação biológica de componentes na estação de tratamento de esgoto é um dos processos mais importantes de transformação destes compostos. Resíduos biodegradáveis utilizados em laboratórios podem ser lançados com segurança na rede de coleta de esgotos, pois serão degradados pela atividade biológica presente no sistema (SCHNEIDER et al., 2011).

### **PGR na Embrapa Agroenergia**

Quando laboratórios de pesquisa optam em colocar em prática um PGR em sua rotina de trabalho, muitos questionamentos surgem,

principalmente por parte de seus funcionários e usuários. Isso acontece porque um PGR muitas vezes é visto como uma tarefa laboriosa, que demanda muito tempo para ser implementada e gerenciada, além de envolver atividades complexas e que modificam a rotina de trabalho já estabelecida.

Na Embrapa Agroenergia não foi diferente. Embora todos reconheçam a importância deste tipo de ação e das boas práticas relacionadas ao gerenciamento de resíduos de laboratórios, poucos querem se envolver de fato. Para facilitar a aceitação e sensibilização do corpo de pesquisa e desenvolvimento, uma primeira ação por parte da chefia geral da Unidade foi trazer o Dr. Edmar das Mercês Penha, da Embrapa Agroindústria de Alimentos, para ministrar uma palestra na qual foi mostrada a importância do gerenciamento de resíduos de laboratório e apresentada as “Diretrizes para Implantação de Gestão Ambiental nas Unidades da Embrapa” (PENHA et al., 2010).

A partir desta apresentação, algumas pessoas se sentiram motivadas a iniciar a estruturação de um PGR na Embrapa Agroenergia. Assim, no final de 2011, o PGR foi oficialmente criado na Unidade, sendo constituído um Grupo de Trabalho (GT) de Resíduos, vinculado ao Setor de Gestão de Laboratórios – SGL. O GT Resíduos é composto por representantes de cada laboratório da Embrapa Agroenergia: Laboratório de Genética e Biotecnologia (LGB), Laboratório de Processos Bioquímicos (LPB), Laboratório de Processos Químicos (LPQ), Área de Plantas Piloto (APP), Central de Análises Químicas e Instrumentais (CAQ) e Laboratório de Aproveitamento de Coprodutos e Resíduos (LCR), além do técnico de segurança do trabalho da Unidade. A estratégia de trabalho adotada pelo grupo foi de reuniões quinzenais breves, onde as tarefas eram divididas de forma a não sobrecarregar nenhum dos participantes.

A primeira atividade do grupo foi buscar as legislações que estavam relacionadas à Política Nacional do Meio Ambiente, Licenciamento

Ambiental no âmbito nacional, estadual e distrital, Gerenciamento de Resíduos Químicos, Gerenciamento de Resíduos Biológicos, Diretrizes da Embrapa sobre Gerenciamento de Resíduos, entre outras. Essa avaliação permitiu ao grupo definir como seria estruturado o PGR dentro da Unidade, visando atender às legislações pertinentes. Também foi levantada a importância da criação de duas comissões que atuariam de forma paralela ao GT Resíduos, a Comissão Interna de Biossegurança e a Comissão de Radioisótopos.

A etapa seguinte foi o levantamento dos macroprocessos relacionados ao PGR. O grupo optou por organizar os macroprocessos em 3 grandes grupos: Gerenciamento de Resíduos Químicos, Gerenciamento de Resíduos Biológicos e Gerenciamento de Resíduos Radioativos. Definidos os macroprocessos, o grupo passou a redigir os documentos orientadores sobre cada um dos processos do Gerenciamento de Resíduos Químicos. Esses documentos fazem parte do Sistema de Gestão da Qualidade da Embrapa Agroenergia.

Foram redigidas seis Instruções de Trabalho (IT), que tratam de: Identificação, Segregação e Acondicionamento de Resíduos Químicos no Laboratório, Transporte Interno de Resíduos Químicos, Armazenamento de Resíduos Químicos no Laboratório de Gerenciamento de Resíduos (GERELAB), Utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) no GERELAB, Medidas de Emergência envolvendo Resíduos e Gerenciamento de Substâncias que Requerem Cuidados Especiais. Além disso, foram elaborados cinco Formulários (FOR) sobre Requisição e Coleta de Resíduos, Destinação Final de Resíduos, Manutenção e Limpeza dos EPIs, Acompanhamento de Resíduos no GERELAB e Derramamento de Substâncias Químicas Perigosas; e quatro Documentos Suporte (DS) contendo os modelos de etiquetas das lixeiras, modelos dos rótulos das bombonas dos laboratórios e do GERELAB, bem como uma Listagem contendo a Segregação das Substâncias Químicas de acordo com os Tipos de

## Resíduo Classe I.

A etapa seguinte foi dar treinamentos aos funcionários, estagiários e bolsistas da Embrapa Agroenergia sobre o gerenciamento de resíduos na Unidade, tendo como base os documentos elaborados e aprovados. A reação de todos foi positiva, pois perceberam que a rotina de suas atividades não seria afetada pela execução do PGR, isso porque as únicas ações do PGR que são exercidas pelos usuários dos laboratórios são segregar corretamente os resíduos e preencher o formulário de solicitação para que os mesmos sejam coletados.

As coletas são feitas semanalmente, ficando um membro do grupo responsável por quatro coletas mensais. No mês seguinte, outro membro do grupo assume o posto e assim sucessivamente. Essa organização permite que nenhum dos membros do grupo fique sobrecarregado com as atividades relacionadas ao GT. A periodicidade da coleta pode ser alterada em função da necessidade dos laboratórios e da disponibilidade dos membros do GT.

A avaliação que o grupo faz deste primeiro ano de trabalho é positiva. A grande preocupação inicial, de que o PGR fosse uma tarefa laboriosa, difícil de ser executada e que prejudicasse as atividades rotineiras dos laboratórios, foi deixada de lado. A organização do grupo e o comprometimento de seus membros facilitaram a condução das atividades e o alcance de resultados significativos em tão pouco tempo. Cabe ressaltar que embora resultados positivos tenham sido alcançados, conscientizações contínuas dos usuários dos laboratórios precisam ser realizadas, já que ainda existem problemas pontuais de descarte de resíduos de maneira incorreta. As figuras 2 e 3 ilustram o PGR na Embrapa Agroenergia.

Foto: Lais Oliveira



Figura 2. PGR nos Laboratórios

Foto: Lais Oliveira



Foto: Lais Oliveira



Figura 3. Laboratório de Gerenciamento de Resíduos – GERELAB: local onde são tratados e armazenados os resíduos até a destinação final

## **Classificação e Segregação de Resíduos na Embrapa Agroenergia**

O primeiro passo para a implementação do PGR na Embrapa Agroenergia foi realizar um levantamento dos resíduos que seriam gerados na rotina das atividades dos laboratórios, isto é, um inventário local dos resíduos. Isso foi feito através de consulta (por email ou entrevista) aos analistas e pesquisadores da área de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Unidade. Em seguida, foi feita a caracterização preliminar desses resíduos, procurando identificar se os mesmos apresentavam características de periculosidade (inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade), segundo a Classe I (NBR 10004:2004) para os resíduos químicos ou Grupos A, B, D e E (ANVISA RDC 306/2004), para os resíduos biológicos.

Como a Embrapa Agroenergia teve seus laboratórios inaugurados apenas em 24 de maio de 2012, no inventário local dos resíduos constava apenas o resíduo ativo, facilitando o mapeamento dos processos geradores de resíduos químicos e biológicos na Unidade. O inventário local dos resíduos ativos gera informações que são usadas para a tomada de decisões referentes, por exemplo, à otimização dos recursos envolvidos nas análises realizadas nos laboratórios (como a substituição de reagentes perigosos) e minimização da quantidade de resíduos produzida. Além disso, para a nossa Unidade será usado para definir as estratégias de gerenciamento no PGR (PENHA et al., 2010; JARDIM, 2012).

Os dados levantados na consulta foram separados de acordo com suas características principais (químicos, biológicos e mistos) e posteriormente avaliados pelo GT Resíduos, procurando-se estabelecer, dentro daqueles resíduos considerados como de geração contínua, as principais correntes de resíduos. Essa identificação permitirá, no futuro, trabalhar na discriminação dos resíduos na fonte geradora e ao mesmo tempo facilitar eventuais processos locais de passivação e disposição final dos resíduos.

Durante a caracterização e classificação dos resíduos, fez-se também a análise de vários documentos sobre PGR já implementados em universidades e empresas de pesquisa no Brasil, como a Embrapa Agroindústria de Alimentos (PENHA et al., 2010), a Embrapa Suínos e Aves (KUNZ, et al, 2004), a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (UNICAMP, 2001; UNICAMP, 2005), a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP, 2002), a Universidade Federal de São Carlos (Machado; Salvador, 2005), a Universidade de São Paulo – USP/Ribeirão Preto (LASSALI et al., [200-?]), o Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo – CENA/USP (BENDASSOLLI, [200-?]), bem como materiais de minicursos organizados pelo Conselho Regional de Química – IV Região (disponíveis em <http://www.crq4.org.br/>), como os ministrados por Flávio Luis A. Bragante (BRAGANTE, 2010) e Marina de Moraes Lessa (LESSA, 2010).

A divisão do PGR em Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos – PGRQ e Programa de Gerenciamento de Resíduos Biológicos – PGRB consistiu o segundo passo do trabalho do GT Resíduos, uma vez que foi detectado que os resíduos que seriam gerados na Unidade apresentariam variações consideráveis (tipo, composição e quantidade).

### **Segregação de Resíduos Químicos**

O PGRQ foi o primeiro programa estabelecido pelo GT Resíduos, motivado tanto pela necessidade imediata quando da inauguração dos laboratórios, quanto da vasta literatura disponível sobre o tema, servindo de base para a criação das categorias de resíduos químicos a serem contempladas em nosso programa, durante a segregação.

Alguns pontos nortearam o tipo de gerenciamento que seria proposto para os resíduos químicos, verificando-se inclusive a possibilidade de reuso e/ou reciclo dos mesmos. Foram levadas em consideração as seguintes opções, em ordem de prioridade: 1) recuperação e reuso

nos laboratórios; 2) viabilidade técnica do emprego de métodos de tratamento nos laboratórios e/ou GERELAB; 3) viabilidade econômica do emprego de métodos de tratamento nos laboratórios e/ou GERELAB; 4) tratamento fora da Unidade; e 5) destinação final.

O PGRQ da Embrapa Agroenergia contempla hoje os resíduos químicos Classe I – Perigosos que após correta identificação, são segregados de acordo com a classe química e a sua destinação final. São adotados 9 tipos de resíduos, divididos em 2 grandes grupos: Resíduos Químicos de Natureza Orgânica – Incineráveis; e Resíduos Químicos de Natureza Inorgânica – Não Incineráveis.

Os Resíduos Químicos de Natureza Orgânica – Incineráveis compreendem os resíduos contendo substâncias orgânicas como os solventes halogenados e não halogenados (nitrogenados, sulfurados, oxigenados e fosforados), não passíveis de tratamento no laboratório e/ou GERELAB. Após identificação e segregação, esses resíduos são armazenados provisoriamente nos laboratórios, em recipientes de descarte apropriados (bombonas de PEAD e/ou frascos de vidro vazios), segundo o tipo de resíduo. Uma empresa terceirizada faz a coleta mensal dos resíduos realizando, posteriormente, a incineração. Os recipientes de descarte são devolvidos aos laboratórios, pela empresa terceirizada, sempre no mês seguinte, na data agendada para a próxima coleta.

O grupo dos Resíduos Químicos de Natureza Orgânica – Incineráveis é subdividido em 4 tipos: Substâncias Halogenadas (SH); Substâncias Nitrogenadas (SN); Substâncias Sulfuradas (SS); e Outras Substâncias (OS). A segregação neste grupo é feita obedecendo a ordem decrescente de toxicidade, nas categorias apresentadas a seguir.

Os resíduos classificados como Substâncias Halogenadas (SH) constituem as substâncias orgânicas que contêm halogênios em sua composição, isto é, flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br) e/ou iodo (I), em

especial os solventes orgânicos como o clorofórmio, diclorometano, tetracloreto de carbono, dentre outros. Neste tipo de resíduo não podem ser incluídos materiais inorgânicos como ácido clorídrico, cloreto de sódio, cloreto de potássio, etc. Outra observação de extrema importância é que, qualquer resíduo que contenha SH em sua composição, seja em pequenas porções ou traços, deve ser incluído nessa categoria, devido à toxicidade das mesmas.

Resíduos classificados como Substâncias Nitrogenadas (SN) são aqueles que apresentam em sua composição substâncias nitrogenadas como nitrilas, azidas, aminas e amidas, em especial os solventes orgânicos como anilina, piridina, trietilamina, nitrofenol, dentre outros.

Resíduos classificados como Substâncias Sulfuradas (SS) são aqueles que apresentam em sua composição substâncias sulfuradas, tais como dimetilsulfeto, mercaptoetanol, dimetil-sulfóxido, ácido sulfosalicílico, dentre outras. Não entram nesta categoria os compostos inorgânicos como o ácido sulfúrico e os ácidos inorgânicos contendo enxofre.

Em uma mistura contendo substâncias nitrogenadas e sulfuradas, a segregação é feita da seguinte forma: Resíduo Tipo SN – Substâncias Nitrogenadas, se o resíduo contiver, em sua maioria (> 50%), substâncias nitrogenadas, ou se a substância nitrogenada apresentar a maior toxicidade; Resíduo Tipo SS – Substâncias Sulfuradas, se o resíduo contiver, em sua maioria (> 50%), substâncias sulfuradas, ou se a substância sulfurada apresentar a maior toxicidade.

Por fim, os resíduos classificados como Outras Substâncias (OS) são todos aqueles que contêm substâncias e solventes orgânicos não contemplados nas categorias anteriores, como os hidrocarbonetos, álcoois, cetonas, aldeídos, éteres, ésteres, ácidos carboxílicos, dentre outros.

A figura 4, a seguir, lista alguns exemplos de substâncias que não podem ser incineradas.

### SUBSTÂNCIAS QUE NÃO PODEM SER INCINERADAS

- Ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico (ácido muriático), ácido nítrico (água régia), bário, pentóxido de fósforo, sulfato de cobre, carbonato de potássio, nitrito de sódio, sulfito de sódio, bisulfato de sódio, iodeto de potássio, enxofre, cloreto de mercúrio, sulfato de sódio, nitrato de sódio, sulfatos em geral, e todos os outros compostos inorgânicos
- Compostos radioativos
- Compostos com mercúrio, tálio, cádmio e chumbo
- Peróxidos
- Ascarel

**Figura 4.** Exemplos de substâncias que não podem ser incineradas

Resíduos Químicos de Natureza Inorgânica – Não Incineráveis compreendem os resíduos aquosos contendo substâncias inorgânicas como os metais pesados (cobre, cromo, chumbo, mercúrio, manganês, por exemplo), ácidos, bases, sulfetos, cianetos, agentes oxidantes, haletos metálicos, metais (sódio e potássio metálico), hidretos alcalinos, etc. Esses resíduos são passíveis de tratamento no laboratório e/ou GERELAB, desde que se disponha de condições adequadas para a realização dos procedimentos (equipamentos de proteção coletiva e individual, materiais e reagentes específicos, kits para a contenção de derramamento de substâncias químicas, kits de emergência/primeiros-socorros), e após toda a equipe do laboratório ter sido treinada para a realização desta atividade, minimizando os riscos aos quais o executor da tarefa estará exposto (UNICAMP, 2005; PAIM et al., 2002; LASSALI et al., [200-?]). Após identificação e segregação, estes resíduos são armazenados nos laboratórios, em recipientes de descarte apropriados (bombonas de PEAD e/ou frascos de vidro vazios), até serem tratados. Com o devido tratamento, esses resíduos

podem ser descartados em lixeira comum (material não contaminado) ou rede de esgoto, desde que não apresentem perigo ao meio ambiente e/ou à saúde humana.

O grupo dos Resíduos Químicos de Natureza Inorgânica – Não Incineráveis é subdividido em 5 tipos: Ácidos Inorgânicos (AI); Bases Inorgânicas (BI); Metais Pesados (MP) – Hg, Cd e Pb; Metais Pesados (MP) – As e Te; Metais Pesados (MP) – Outros.

Resíduos classificados como Ácidos Inorgânicos (AI) são constituídos de soluções aquosas de ácidos inorgânicos, desde que estejam ausentes as substâncias orgânicas perigosas das categorias SH, SN, SS e OS. Exemplos: ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico, ácido bromídrico, ácido perclórico, ácido fosfórico, dentre outros. Bases Inorgânicas (BI) são os resíduos constituídos de soluções aquosas contendo bases inorgânicas, desde que estejam ausentes as substâncias orgânicas perigosas das categorias SH, SN, SS e OS. Exemplos: hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, hidróxido de amônio, hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, dentre outras.

Os resíduos classificados como Metais Pesados (MP) – Hg, Cd e Pb constituem soluções aquosas de sais dos metais mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e/ou chumbo (Pb), desde que estejam ausentes as substâncias orgânicas perigosas das categorias SH, SN, SS e OS. Exemplos: cloreto de mercúrio, acetato de chumbo, etc.

Resíduos do tipo Metais Pesados (MP) – As e Te são soluções aquosas de sais dos metais arsênio (As), e/ou telúrio (Te), desde que estejam ausentes as substâncias orgânicas perigosas das categorias SH, SN, SS e OS. Exemplos: arseniato de cálcio e arseniato de cobre cromado.

Metais Pesados (MP) – Outros constituem a categoria de resíduos de soluções aquosas de sais dos metais pesados não contemplados nas categorias anteriores, isto é, antimônio (Sb), bário (Ba), berílio (Be),

cobre (Cu), cromo (Cr), estanho (Sn), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), ósmio (Os), prata (Ag), selênio (Se), tálio (Ta) e zinco (Zn), desde que estejam ausentes as substâncias orgânicas perigosas das categorias SH, SN, SS e OS. Exemplos: sulfato de cobre, acetato de zinco, permanganato de potássio, nitrato de prata, molibdato de amônio, dentre outros.

É importante salientar que na segregação de metais pesados deve-se evitar misturas do tipo “multielementos”, isto é, contendo mais de um metal pesado no mesmo resíduo, a não ser que esta composição seja proveniente da fonte geradora (efluente pós-análise ou de um equipamento, por exemplo). Quando as soluções aquosas de metais pesados estiverem contaminadas com substâncias orgânicas incineráveis, as mesmas devem ser segregadas e identificadas para tratamento e/ou disposição final do metal pesado. O metal deve ser precipitado e o resíduo orgânico ou orgânico/aquoso pode então ser enviado à incineração.

Algumas substâncias químicas tóxicas e/ou cujo armazenamento seria problemático, quando misturado nas categorias mencionadas anteriormente, foram classificadas como especiais. No PGRQ, o GT Resíduos criou uma categoria contemplando apenas esses resíduos, gerados na rotina dos laboratórios. São eles: acetonitrila, acrilamida/bis-acrilamida, benzeno, brometo de etídio e persulfato de sódio. Neste caso, a segregação é feita de modo individual, e os resíduos são encaminhados à incineração ou tratados, de acordo com as suas particularidades.

### **Segregação de Resíduos Biológicos**

Para este tema, a maior dificuldade encontrada foi achar documentos de referência sobre segregação de resíduos biológicos que norteassem as atividades do grupo.

Nesse sentido, o grupo se baseou nas resoluções ANVISA RDC 306/2004 e CONAMA 358/2005, citadas anteriormente, que definem

resíduos biológicos como *aqueles que apresentam produtos biológicos que podem ou não representar risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente, devido à presença de microrganismos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção*. Salienta-se que tais resoluções não podem ser aplicadas às fontes radioativas seladas, que devem seguir as determinações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), nem às indústrias de produtos para a saúde, que devem observar as condições específicas do seu licenciamento ambiental.

Os resíduos biológicos foram divididos em cinco categorias. Na primeira delas enquadram-se os materiais vegetais que não foram alterados e nem tratados com substâncias químicas. Esses resíduos não são considerados perigosos, podendo ser descartados como lixo comum ou ainda aproveitados para a compostagem.

Na segunda categoria encontram-se os materiais vegetais que foram alterados ou tratados quimicamente para fins experimentais, como exemplo, sementes que são tratadas com fungicidas. Esses resíduos devem ser encaminhados para incineração.

A terceira categoria engloba os resíduos de origem microbiológica enquadradas no Grupo A1 segundo as Resoluções ANVISA RDC 306/2004 e CONAMA 358/2005, que inclui culturas e estoques de microrganismos em meios sólidos e líquidos; resíduos de laboratórios de manipulação genética; resíduos de fermentação em estado sólido; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; dentre outros. Esses resíduos devem ser inativados, por autoclave ou inativação química, para posterior descarte em lixo comum, se sólido, ou na rede de esgotos, se líquido.

A quarta categoria compreende os resíduos sólidos ou líquidos de origem microbiológica enquadrados no Grupo A1 e que receberam tratamentos com diferentes tipos de substâncias químicas, tais como

meios de cultura contendo metais pesados e/ou corantes tóxicos com concentrações acima das especificadas em legislação, desde que estejam isentas de substâncias radioativas. Esses resíduos devem ser encaminhados à incineração.

Por último, a quinta categoria abrange os resíduos vegetais geneticamente modificados e/ou resíduos sólidos ou líquidos de origem microbiológica geneticamente modificados, enquadrados como Classe de Risco 1 segundo Instrução Normativa CTNBio 02/2006. É de responsabilidade da unidade geradora a inativação dos organismos Classe 1, garantindo que não se propaguem no ambiente. Após inativação em autoclave, esses resíduos são descartados como resíduo comum.

Os materiais utilizados na manipulação de substâncias químicas perigosas (NBR 10004 Classe I), microrganismos e/ou ADN/ARN, tais como papel de filtro, papel toalha, ponteiros de pipeta, algodão, microtubos, microplacas, alças descartáveis, zaragatoas, membranas para filtração usadas e outros materiais descartáveis contaminados são dispostos nas lixeiras de “material contaminado”, e são posteriormente encaminhados à incineração.

Já os materiais perfurocortantes ou escarificantes (listados no Grupo E da Resolução ANVISA RDC 306/2004) são descartados em recipientes que atendam aos padrões estabelecidos pela norma ABNT NBR 13853:1997. Esses materiais são descartados separadamente, no local de sua geração, imediatamente após o uso ou necessidade de descarte, em recipientes rígidos, resistentes à punctura, ruptura e vazamento, com tampa e devidamente identificados. É expressamente proibido o esvaziamento desses recipientes para o seu reaproveitamento. As agulhas descartáveis são desprezadas juntamente com as seringas, quando descartáveis, sendo proibido reencapá-las ou proceder a sua retirada manualmente.

## **Destinação Final de Resíduos na Embrapa Agroenergia**

Nesse primeiro momento, a Embrapa Agroenergia está realizando somente o tratamento de neutralização dos resíduos ácidos e básicos. A meta do GT é iniciar brevemente o tratamento de precipitação dos resíduos que contém metais pesados.

Os resíduos Classe II (após tratamento, se necessário) e os resíduos biológicos (após inativação e na ausência de resíduos químicos Classe I) gerados na unidade são dispostos em lixo comum, o qual é encaminhado para o aterro sanitário ou descartados diretamente na pia, sendo incorporados na rede de esgoto doméstico. Deve-se sempre estar atento ao correto tratamento e a segregação adequada desses resíduos, de forma a garantir que nenhum resíduo químico perigoso, material perfurocortante ou agente biológico chegue acidentalmente ao ambiente externo.

Em relação aos resíduos perigosos, o Setor de Gestão de Laboratórios da Embrapa Agroenergia, representado pelo Grupo de Trabalho de Resíduos, optou pela contratação de uma empresa terceirizada com experiência no tratamento e na coleta desses resíduos. A empresa trabalha com o processo de incineração, atuando desde a coleta de bombonas contendo os resíduos líquidos, vidros de reagentes vazios e demais resíduos sólidos acondicionados em sacos apropriados, até a sua destinação final. Essa estratégia também visa minimizar o risco a que os empregados da Embrapa Agroenergia, em especial aqueles que lidam diretamente com o gerenciamento de resíduos, estão expostos.

## **Conclusão**

Tendo em vista que é inevitável a geração de resíduos em laboratórios de pesquisa, este trabalho teve como objetivo principal mostrar que a implementação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos pode ser executada.

A Embrapa Agroenergia, ao colocar em prática o seu PGR, buscou incorporar em sua cultura organizacional e em seus procedimentos a corresponsabilidade do gerador bem como premissas de boas práticas do manejo de resíduos. A unidade também busca, continuamente, minimizar os riscos à saúde e segurança de seus empregados, estagiários e bolsistas, bem como à saúde pública e ao meio ambiente.

Ações que visem minimizar a geração de resíduos devem ser buscadas e executadas em paralelo com o sistema de gerenciamento, pois contribuem para a diminuição do custo financeiro do tratamento e disposição dos resíduos na Unidade.

A sensibilização de todos os setores sobre a importância do Programa de Gerenciamento de Resíduos e a participação integrada determinou o sucesso da execução e manutenção do mesmo.

## Referências

AFONSO, J. C.; NORONHA, L. A.; FELIPE, R. P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 602-611, 2003.

BENDASSOLLI, J. A. **Normas e procedimentos para implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos**: apostila II. Piracicaba: CENA/USP, [200-?]. 87 p.

BRAGANTE, F. L. A. **Gestão de resíduos em pequenas e médias empresas**: minicurso. Araraquara: CRQ IV Região, 2010. 64 p. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/>>. Acesso em: setembro de 2012.

CARDOSO, T. A. O. Considerações sobre a biossegurança em arquitetura de biotérios. In: **Boletín del Centro Americano de Fiebre Aftosa**, Rio de Janeiro, v. 64-67, p. 3-17, 2001.

HENRIQUE, J. B. C.; ERBOLATO, S. A. S. Gerenciamento de resíduo sólido urbano gerado no campus da Cid. Univ. "Zeferino Vaz" da Universidade Estadual de Campinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ICTR, 2004, Costão do Santinho, S.C. [**Anais...**]. São Paulo: ICTR: NISAM, USP, 2004. p. 2248-2264.

JARDIM, W. F. **Cartilha para implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos**. Disponível em < <http://lqa.iqm.unicamp.br/pdf/Cartilha.pdf> >. Acesso em: setembro de 2012.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de Ensino e Pesquisa. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 5, p. 671-673, 1998.

KUNZ, A.; NOGUEIRA, A. R. A.; BIZZO, H.; SIMEONE, M. L. F.; ENCARNAÇÃO, R. **Estratégia para Implementação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos de laboratório na Embrapa**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 32 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 90).

LASSALI, T. A. F.; DINIZ, R. B.; CÁRNIO, E. C.; BONATO, P. S.; LARSON, R. E.; DE GIOVANI, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos: normas e procedimentos gerais**. Ribeirão Preto: USP, [200-?].

LESSA, M. M. **Destinação de resíduos gerados em laboratório**: minicurso. 105 p. Araraquara: CRQ IV Região, 2010. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/>. Acesso em: setembro de 2012.

LIMA, R. G. C. **Resíduos industriais: métodos de tratamento e análise de custos**. 2007. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – PUC Goiás, Goiânia, GO.

MACHADO, A. M. R.; SALVADOR, N. N. B. **NR 01/UGR – normas de procedimentos para segregação, identificação, acondicionamento e coleta de resíduos químicos**. São Carlos: UFSCar, Unidade de Gestão de Resíduos, 2005. 36 p.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma**, Brasília, DF, v. 16, n. 11, p. 67-77, 2004.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. **Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia: estudo para região metropolitana de Goiânia**. Goiânia: PUC Goiás, 2006.

MURPHY, J. A.; ACKERMAN, A. H.; HEEREN, J. K. Recovery of silver from and some uses for waste silver chloride. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 68, n. 7, p. 602-604, 1991.

OLIVEIRA, E. M. M.; COURI, S.; FELBERG, I.; PENHA, E. M.; SIQUEIRA, R. S.; GONÇALVES, N. B.; CARVALHO, J. L. V.; FARIAS, A. X. **Manual de biossegurança da embrapa agroindústria de alimentos: laboratórios e plantas-piloto**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004. 20 p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 57).

PAIM, C. P.; PALMA, E. C.; EIFLER-LIMA, V. L. Gerenciar resíduos químicos: uma realidade. **Caderno de Farmácia**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 23-31, 2002.

PENHA, E. M.; TOMÉ JUNIOR, J. B.; COHEN, K. O.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; ENCARNAÇÃO, R. O.; MAURO, R. A.; ANGELIS, S.; HAMMES, V. S.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Diretrizes para Implantação da gestão ambiental nas unidades da Embrapa**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2010. 144 p.

SCHNEIDER, R. P.; GAMBA, R. C.; ALBERTINI, L. B. **Manuseio de produtos químicos: Capítulo 8: procedimentos para tratamento e disposição final de produtos químicos**. São Paulo: ICBII USP, 2011. 28 p. Protocolo da Rede PROSAB Microbiologia. Disponível em: <<http://www.prosabmicrobiologi.org.br/rede/protocolos>>. Acesso em: 13 out. 2012.

SILVA, A. F.; SOARES, T. R. S.; AFONSO, J. C. Gestão de resíduos de laboratório: uma abordagem para o ensino médio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, p. 37-42, 2010.

SILVA, C.; ANDREOLI, C. Compostagem como alternativa à disposição final dos resíduos sólidos gerados na Ceasa Curitiba/PR. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, p. 27-40, 2010.

UNESP. Instituto de Química. **Gerenciamento de resíduos químicos. Normas Gerais – revisão 2002**. Araraquara, 2002. 19 p. Aprovada pela Congregação do IQ/UNESP em dezembro/2002.

UNICAMP. Coordenadoria Geral da Universidade. **Classificação de resíduos para incineração**. Campinas, [200-?]. 5 p.

UNICAMP. Comissão de Segurança e Ética Ambiental Instituto de Química. **Normas de gerenciamento de resíduos químicos do Instituto de Química da UNICAMP**. Campinas, 2005. 10 p. Aprovadas na 224ª sessão da Congregação e Resolução da Congregação IQ 134/2005 em 23/11/2005

UNICAMP. Grupo Assessor de Resíduos Biológicos, Químicos e Radioativos. **Programa Institucional de Gerenciamento de Resíduos Biológicos, Químicos e Radioativos da UNICAMP**. Campinas, 2001. 82 p.



Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

