

Foto: Flávio Ubiali



Programa de Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios da Embrapa Instrumentação

Joana Dias Bresolin¹
Verônica Regina Dias²
Wilson Tadeu Lopes da Silva³
Silviane Zanni Hubinger⁴
Marcelo Luiz Simões⁵

Considerações Iniciais

As atividades rotineiras durante as pesquisas laboratoriais são fundamentais para a geração de resultados satisfatórios ao desenvolvimento científico. No entanto, igual importância é requerida no que diz respeito aos resíduos gerados durante essas pesquisas. Deve haver uma completa preocupação e sensibilização quanto à periculosidade desses resíduos, ao seu manuseio, armazenamento e segregação adequados. Os impactos negativos, caso tais cuidados não sejam tomados, vão desde o risco de contaminação do próprio usuário durante o experimento até a contaminação ambiental, acarretando muitas vezes danos consideráveis e irreversíveis à natureza ao longo do tempo. A gestão dos resíduos de laboratório busca inicialmente reduzir a quantidade de resíduo gerado, visando, dessa forma, um menor consumo de reagentes e a redução dos custos com o tratamento

e a disposição final, além de colaborar com a segurança do operador e da comunidade, uma vez que reduz a contaminação ambiental. Porém, apesar de a diminuição do volume gerado ser a alternativa mais adequada, nem sempre é possível executá-la. Neste caso é necessário adotar medidas para sua reutilização ou descarte em níveis de concentração aceitáveis e ambientalmente seguros (REINHARDT et al., 1996).

Considerando o número crescente de atividades de pesquisa e de amostras processadas nos laboratórios de universidades, escolas e institutos de pesquisa, uma quantidade cada vez maior de resíduos em volume e com diferentes características está sendo gerada, podendo representar 1% do total de resíduos perigosos produzidos em um país desenvolvido (TAVARES; BENDASSOLLI, 2005). Assim, o cuidado com o descarte de resíduos químicos de laboratório torna-se um compromisso moral e ético com a sociedade, visto que estas

¹Bióloga, Msc., Analista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, joana.bresolin@embrapa.br

²Química, graduanda, Universidade Federal de São Carlos, SP, São Carlos, SP, ve.quimica@gmail.com

³Químico, Dr., Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, wilson.lobes-silva@embrapa.br

⁴Farmacêutica, Msc., Analista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, silviane.zanni@embrapa.br

⁵Físico, Técnico da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, marcelo.simoese@embrapa.br

instituições também exercem um papel importante na formação de recursos humanos comprometidos com as práticas de gestão ambiental. Portanto, a adoção e constante atualização de um programa de gerenciamento de resíduos químicos é uma solução para que os geradores atuem de forma coerente e consciente.

Legislação aplicada aos resíduos

Muito embora não haja uma legislação específica que trate do destino final de resíduos químicos oriundos das atividades de ensino e de pesquisa, o fato não deve ser usado como pretexto para a falta de gerenciamento destes rejeitos. Neste caso, adota-se a legislação existente para as indústrias (JARDIM, 1998), sob a premissa de que a legislação é válida tendo como base a natureza da atividade, e não as quantidades de resíduos gerados por ela. A gestão de resíduos tem como objetivo primeiro minimizar os danos causados pela disposição adequada destes rejeitos químicos nos corpos receptores disponíveis (rede de esgoto, águas superficiais, aterros etc.). Assim, o lançamento de efluentes líquidos no sistema coletor é regulado pela ABNT NBR 9.800:1987 (FIGUERÊDO, 2006) e também está de acordo com o estabelecido nas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 357:2005 (CONAMA, 2005) e nº 430:2011 (CONAMA, 2011), que definem as concentrações máximas de uma série de elementos e compostos permitidos no efluente, dependendo da classe na qual o corpo receptor for enquadrado. De modo similar, os resíduos sólidos industriais são classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004 (FIGUERÊDO, 2006) em Classe I (perigoso), Classe II (não inerte) e Classe III (inerte), e esta divisão determina o local adequado para a sua disposição. Sendo os resíduos de laboratório não tratados, em sua maioria, de Classe I, a exigência é sua disposição em aterros industriais. Em todo caso, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) (BRASIL, 2010) ou qualquer legislação vigente relacionada, como a Constituição Federal artigo 225 parágrafo 3 (BRASIL, 2000), o gerador é o responsável pelo seu resíduo. Assim, está sujeito às sanções penais e administrativas, caso sua conduta seja lesiva ao meio ambiente, e por todas as etapas do gerenciamento do material: geração,

segregação, acondicionamento, identificação, armazenamento, tratamento e disposição final.

Gestão e estratégias de ação

o gerenciamento dos resíduos de laboratório é extremamente complexo devido ao perfil de geração, que depende das múltiplas atividades e linhas de pesquisa desenvolvidas. Geram-se normalmente quantidades reduzidas e intermitentes de um espectro muito diversificado de resíduos. Essa condição torna necessária a implantação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos. A falta de um programa de gestão na maioria das instituições geradoras de resíduos leva a um descarte pouco responsável no ambiente, por meio das pias ou do lixo comum, ou, em outros casos, resultando na geração de passivos ambientais expressivos (FIGUERÊDO, 2006).

Desde o ano de 2003, a Embrapa Instrumentação vem desenvolvendo um Programa de Gerenciamento de Resíduos de Laboratório (PGRL). Este sistema faz parte de um projeto maior de Gestão Ambiental Corporativa da Embrapa que, em linhas gerais, é um conjunto de ações que têm como objetivo criar uma relação mais consciente entre a empresa e meio ambiente.

O PGRL conta com o apoio institucional e a denominação de um gestor responsável em coordenar as atividades, elaborar estratégias e diretrizes, e buscar apoio técnico e financeiro para manter os objetivos do programa. Além do gestor, o programa conta com uma equipe de analistas e técnicos de laboratório engajados e capacitados para atender os usuários geradores nas diversas etapas do gerenciamento de resíduos.

As diretrizes do PGRL seguem o princípio dos três "Rs" apresentado na Agenda 21: *reduzir*, *reutilizar* e *reciclar* (BEZERRA; FERNANDES, 2000). Dessa forma, o sistema busca análises alternativas que gerem menor quantidade de resíduos, e atua desenvolvendo protocolos de tratamento que permitam a reutilização de alguns materiais ou a redução de sua periculosidade para um descarte ambientalmente adequado (Figura 1). Para que isso ocorra, foram adotados como principais linhas de atuação as seguintes ações:

- Padronização dos procedimentos de armazenamento, rotulagem, tratamento, reuso e descarte de resíduos químicos, por meio da

adoção de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), detalhados no Anexo 2;

- Diminuição do desperdício e da quantidade gerada de resíduos por meio de procedimentos mais adequados e que utilizam reagentes menos agressivos;
- Qualificação e conscientização dos usuários de laboratório com a apresentação de cursos e palestras relativas à questão ambiental e ao sistema de gestão de resíduos de laboratório aplicados na Embrapa Instrumentação.

A implementação e a manutenção de um PGRL exigem a adoção de conceitos importantes, os quais nortearão as atividades a serem desenvolvidas. Um conceito importante é o de que gerenciar resíduos não é sinônimo de “geração zero de resíduo”. Ou seja, o gerenciamento de resíduos busca não só minimizar a quantidade gerada, mas também impõe um valor máximo na concentração de substâncias notadamente tóxicas no efluente final da unidade geradora (JARDIM, 1998). Para isso é importante outro conceito que afirma que só se pode gerenciar aquilo que se conhece – portanto, um inventário atualizado de todo o resíduo produzido na rotina da unidade geradora é indispensável. Além do inventário, cabe a observação da importância de uma identificação/rotulagem adequada, o que facilita ao usuário gerador o tratamento do resíduo.

Outro conceito importante é o da responsabilidade objetiva na geração do resíduo, ou seja, o gerador é o responsável, cabendo a ele a destinação final. A Lei 6938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), mais conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece que a responsabilidade objetiva dispensa a prova de culpa no caso de um possível dano ao ambiente, ou seja, para que um potencial poluidor seja penalizado, basta que se prove um nexo de causa e efeito entre a atividade desenvolvida por uma organização e um dano ambiental (TAVARES; BENDASSOLLI, 2005). Além de amparado em legislação, a responsabilidade objetiva na geração e destinação final do resíduo torna o processo mais eficiente, uma vez que o gerador poderá ponderar sobre a produção excessiva de resíduo e tornará o processo mais seguro, pois também possibilitará uma destinação correta. Para isso, ações de conscientização em recursos humanos têm sido tomadas, tornando a preocupação com os resíduos gerados tão importante quanto as outras atividades experimentais de pesquisa desenvolvidas. Uma condição essencial para que os Programas de Gestão de Resíduos tenham sucesso é o comprometimento dos usuários de laboratório em cumprir as exigências e atingir as metas estabelecidas. Assim, o PGRL atua de forma sinérgica com o Setor de Gestão de Pessoas

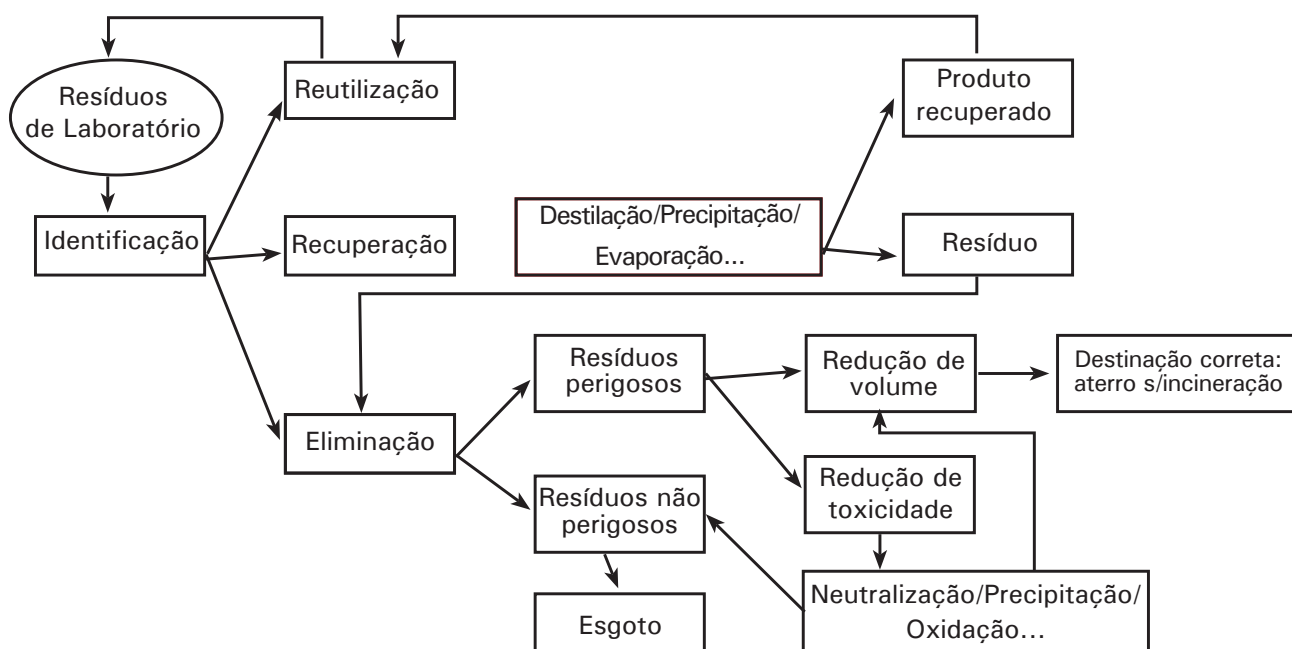


Figura 1. Fluxograma das etapas do resíduo no PGRL.

realizando treinamentos internos mensalmente e fornecendo Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e disponibilizando Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC). Dessa forma, todos os funcionários e estagiários que atuam em laboratórios recebem treinamento em relação aos seguintes tópicos:

- Uso correto de EPIs e EPCs;
- Noções de Segurança em Laboratórios;
- Funcionamento do Programa de Gerenciamento de Resíduos de Laboratórios;
- Necessidade de Segregação e Identificação;
- Apresentação dos Procedimentos de Tratamento/Recuperação de Resíduos;
- Apoio aos usuários não familiarizados com o laboratório ou com o procedimento;
- Instrução para uso correto de recipientes para armazenamento de resíduos e sua rotulagem;
- Compreender a importância da atitude individual em relação aos resíduos (todas as etapas do programa) e as consequências de erros nas etapas que provocam danos ambientais ou de segurança individual e/ou coletiva.

Várias ações devem ser realizadas simultaneamente, de modo a tornar a atividade gerenciadora possível e eficaz. Primeiramente é importante que o programa de gerenciamento contemple dois tipos de resíduos: o ativo e o passivo. O passivo corresponde ao resíduo estocado, geralmente não caracterizado, que aguarda a destinação final adequada. O ativo é fruto das atividades rotineiras e principal alvo de um programa de gerenciamento. Para este último, o usuário deve operar observando algumas etapas: segregação, acondicionamento, identificação, armazenamento, tratamento, descarte final e registro, detalhadas abaixo.

Segregação

É a separação dos resíduos no momento e no local da sua geração. Tal separação é exercida como forma de prevenção de acidentes, levando-se em consideração sua característica química, a incompatibilidade de substâncias (Anexo 1), a quantidade gerada e a possibilidade de recuperação para reutilização. Assim, foi possível classificar os resíduos segregados em grupos de resíduos:

- **Grupo 01:** Resíduos de solventes orgânicos clorados: clorofórmio e diclorometano;

- **Grupo 02:** Resíduos de solventes orgânicos: acetona;
- **Grupo 03:** Resíduos de solventes orgânicos: hexano;
- **Grupo 04:** Resíduos de solventes orgânicos: etanol;
- **Grupo 05:** Resíduos de solventes orgânicos: isopropanol;
- **Grupo 06:** Resíduos de solventes orgânicos provenientes de cromatografia: metanol;
- **Grupo 07:** Resíduos de solventes orgânicos provenientes de cromatografia: acetonitrila;
- **Grupo 08:** Resíduos de solventes orgânicos: éter de petróleo e éter etílico;
- **Grupo 09:** Resíduos de eletroforese: acrilamida;
- **Grupo 10:** Resíduos de soluções contendo ácidos em geral, exceto ácido fluorídrico (HF);
- **Grupo 11:** Resíduos de soluções contendo ácido fluorídrico (HF). Dar preferência ao acondicionamento desse resíduo em recipientes plásticos separados. Quando não for possível a separação de outras substâncias, tais como outras soluções ácidas, especificar corretamente no rótulo
- **Grupo 12:** Resíduos de soluções contendo bases em geral;
- **Grupo 13:** Resíduos de soluções contendo pesticidas em geral;
- **Grupo 14:** Resíduos de soluções contendo mercúrio metálico. Estas soluções devem ser acondicionadas em recipientes contendo uma fase aquosa. Deve-se, portanto, especificar o que essa fase aquosa contém;
- **Grupo 15:** Resíduos de sais inorgânicos em solução aquosa ou não, exceto metais pesados;
- **Grupo 16:** Resíduos contendo metais pesados
- **Grupo 17:** Resíduos contendo polianilina (PANI)
- **Grupo 18:** Resíduos contendo poli (o-etoxianilina) (POEA) e poli (o- metoxianilina) (POMA);

- **Grupo 19:** Resíduos contendo outros monômeros/polímeros;
- **Grupo 20:** Esse grupo destina-se aos resíduos que não se encontram listados nos demais grupos. Cada caso específico deverá ser estudado separadamente, verificando sempre a incompatibilidade de substâncias, bem como uma possível metodologia de tratamento para tal.

Acondicionamento

Etapa de armazenamento do resíduo gerado e segregado em recipientes que não permitam a ruptura e/ou vazamento. Deve-se levar em consideração a característica química do resíduo, sua reatividade com o material da embalagem e seu estado físico para otimizar o acondicionamento de forma segura.

Identificação

Também chamada de rotulagem. A identificação do resíduo é feita utilizando-se um modelo padronizado na Embrapa Instrumentação (Figura 2). A identificação consiste basicamente no detalhamento da composição do resíduo, data e volume de geração e o nome do usuário gerador responsável pelo resíduo. Para padronizar a identificação do resíduo, adotou-se a simbologia de risco NFPA (National Fire Protection Association, também conhecida como diamante de Hommel, ou diagrama do perigo. Nesta simbologia, cada um dos losangos, com uma cor característica, expressa um tipo de risco, ao qual será atribuído um grau de risco que varia entre 0 e 4 (Figura 3).

Quando se conhece o conteúdo do resíduo, o preenchimento do diagrama de Hommel pode ser feito a partir da consulta à Ficha de Segurança do Produto Químico (FISPQ) que originou o resíduo. Porém, se o resíduo estiver altamente misturado, se o usuário desconhecer seu conteúdo ou se a FISPQ não estiver disponível, o preenchimento do diagrama de Hommel pode ser feito após a realização de alguns testes de reatividade e inflamabilidade descritos no POP310101021 – Procedimento para caracterização de resíduos desconhecidos (Anexo 2).

Armazenamento

Após a segregação e identificação, os resíduos devem ser armazenados em embalagens que

não permitam a ruptura e vazamento. Deve-se observar a compatibilidade química do resíduo com a embalagem e não ultrapassar 80% do volume máximo da embalagem.

Se o resíduo for passível de tratamento deve ser armazenado em local apropriado dentro dos laboratórios. Porém, resíduos que não possuem tratamento ou rejeitos de tratamentos de resíduos devem ser armazenados exclusivamente no Depósito de Resíduos de Laboratório para futura disposição final.

Tratamento

Quando possível, o resíduo deve ser tratado para diminuir sua periculosidade antes da disposição final. Os métodos, descritos em Procedimentos Operacionais Padrão (POP), variam de acordo com a característica do resíduo e estão listados no Anexo 2. Sempre que possível, o tratamento deve visar, como subetapa, a recuperação de reagentes e permitir sua reutilização em novas análises. Porém, se houver resíduo restante de uma metodologia de tratamento e este ainda for perigoso, ele deverá ser armazenado adequadamente e futuramente disponibilizado para destinação final. Caso não seja perigoso, poderá ser descartado em rede comum de esgoto ou no lixo. No entanto, a quantidade de resíduo destinada a esses fins, após um possível tratamento, deve ser minimizada, diminuindo custos e riscos.

Descarte adequado

O descarte do resíduo deve ser feito com conhecimento, responsabilidade e segurança, para não haver qualquer prejuízo à saúde humana, ao ambiente e à rede de drenagem de efluentes. Devem ser consideradas a toxicidade, inflamabilidade, reatividade e a quantidade do material a ser descartado. Os procedimentos para descarte na rede de esgotos e no lixo comum devem estar ancorados no conhecimento dos regulamentos, considerando os materiais e as concentrações aceitáveis (FIGUERÊDO, 2006). No Brasil, o lançamento de efluentes líquidos no sistema coletor é regulado pela ABNT NBR 9.800:1987 (FIGUERÊDO, 2006). Pequenas quantidades de vários produtos podem ser descartadas pelo ralo, desde que o dreno da pia esteja conectado a um sistema de coleta de esgoto, e os volumes e concentrações máximos permitidos em função da substância sejam respeitados (Tabela 1).



 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE LABORATÓRIO	
 DIAMANTE DE HOMMEL	COMPOSIÇÃO DETALHADA Não utilize abreviações ou siglas <hr/> <hr/> <hr/>
	NOME DO GERADOR/RESPONSÁVEL: <hr/>
DATA ___ / ___ / _____	VOLUME _____

Figura 2. Modelo padrão de rótulo para identificação dos resíduos.

Reatividade	Saúde
<p>4 – Perigo: material explosivo em temperatura ambiente</p> <p>3 – Perigo: pode ser explosivo em caso de choque, de aquecimento sob confinamento ou se misturado com água</p> <p>2 – Cuidado: instável ou pode reagir violentamente se misturado com água</p> <p>1 – Cautela: pode reagir sob aquecimento ou se misturado com água, mas não violentamente</p> <p>0 – Estável: não reativo quando misturado com água</p>	<p>4 – Perigo: pode ser fatal em pequena exposição Usar EPIs necessários</p> <p>3 – Perigo: corrosivo ou tóxico. Evitar contato com a pele ou inalação</p> <p>2 – Cuidado: pode ser prejudicial ou nocivo se inalado ou absorvido</p> <p>1 – Cautela: pode ser irritante</p> <p>0 – Estável: não causa dano à saúde</p>
Inflamabilidade	Risco Específico
<p>4 – Perigo: gás inflamável ou líquido extremamente inflamável</p> <p>3 – Perigo: líquido inflamável com pressão de vapor abaixo de 38°C</p> <p>2 – Cuidado: líquido inflamável com pressão de vapor entre 38°C e 93°C</p> <p>1 – Cautela: combustível se aquecido</p> <p>0 – Estável: não combustível</p>	<p>OXI – Oxidante</p> <p>ACD – Ácido</p> <p>ALC – Alcalino</p> <p>CORR – Corrosivo</p> <p>W – Reativo em água</p> <p>RAD – Radioativo</p>

Figura 3. Grau de risco utilizado no diagrama de Hommel.

Fonte: National Fire Protection Association – NFPA.

Tabela 1. Parâmetros e limites nacionais para lançamento de efluentes líquidos na rede pública coletora de esgotos.

Parâmetro	Unidade de Medida	Limite Permitido
pH		Mínimo 6,0 Máximo 10,0
Temperatura	°C	< 40
Sólidos sedimentáveis	mL/L	20
Regime de Lançamento	L/s	1,5 Q vazão média horária
Arsênio total	mg/L	1,5
Cádmio total	mg/L	0,1
Chumbo total	mg/L	1,5
Cianeto	mg/L	0,2
Cobre total	mg/L	1,5
Cromo hexavalente	mg/L	0,5
Cromo total	mg/L	5,0
Estanho total	mg/L	4,0
Fenol	mg/L	5,0
Ferro solúvel	mg/L	15,0
Fluoreto	mg/L	10,0
Mercúrio total	mg/L	0,01
Níquel total	mg/L	2,0
Prata total	mg/L	1,5
Selênio total	mg/L	1,5
Substâncias tensoativas	mg/L	5,0
Sulfatos	mg/L	1,000
Sulfeto	mg/L	1,0
Zinco total	mg/L	5,0

Fonte: ABNT NBR 9800:1987 (FIGUERÊDO, 2006).

Vários materiais também podem ser descartados no lixo comum. Rejeitos químicos não perigosos ou de baixa toxicidade, vidraria, materiais de laboratório e embalagens devidamente lavadas e não contaminadas podem ser descartadas. Porém, deve-se assegurar que todo o material não esteja contaminado com substâncias que tragam riscos ao ambiente e às pessoas.

A Embrapa Instrumentação desenvolveu alguns procedimentos, descritos no item "Tratamento", que permitem tratar o resíduo de laboratório para diminuir seu volume e/ou toxicidade, e o descarte em rede de esgoto ou lixo comum. Porém, alguns subprodutos dos tratamentos ou resíduos que não podem ser descartados desta maneira com segurança devem ser armazenados para destinação final.

Destinação final

A destinação final de resíduos perigosos envolve basicamente três processos: incineração,

coprocessamento e deposição em aterros.

A incineração é o processo de decomposição térmica, por meio da oxidação a altas temperaturas (maiores que 900°C), usado para destruir a fração orgânica do rejeito e diminuir seu volume (FIGUERÊDO, 2006). A Resolução CONAMA 316:2002 (CONAMA, 2002) dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, incluindo a incineração. Os rejeitos possíveis de serem incinerados são os combustíveis e materiais com conteúdo significativo de compostos orgânicos, que incluem: rejeitos de origem industrial, urbana, hospitalar e agrícola, incluindo agrotóxicos. Não é recomendável a incineração de rejeitos contendo teores elevados de metais devido às emissões atmosféricas eventualmente não controladas.

O coprocessamento também é um processo de decomposição térmica, mas em fornos de clínquer e, ao contrário da incineração, há o aproveitamento

da energia contida nos resíduos ou seu uso na matéria-prima da indústria cimenteira. No Brasil, a Resolução CONAMA 264/99 (CONAMA, 1999) regulamenta a atividade de coprocessamento de resíduos, proibindo o seu uso em resíduos hospitalares, domésticos não tratados, radioativos, pesticidas, agrotóxicos e explosivos.

O aterro é outra alternativa para disposição final dos rejeitos. Consiste em uma disposição ordenada de rejeitos sob o solo, podendo ser sanitário, controlado ou industrial, dependendo do rejeito a ser recebido. Os industriais são divididos em classes I, II e III, sendo o I para rejeitos perigosos de acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004 (FIGUERÊDO, 2006). De acordo com a norma ABNT NBR 10.157 (FIGUERÊDO, 2006), que regulamenta a disposição final em aterros, a restrição é que não devem ser levados rejeitos inflamáveis e reativos, pois são potencialmente perigosos no solo, uma vez que não ocorre sua destruição, somente a disposição.

Registro

Após o tratamento do resíduo, uma ficha (Ficha Histórico do Resíduo) deve ser preenchida, relatando o responsável pelo resíduo, a metodologia usada, o tipo do resíduo e quantidade, a fim de permanecer documentado e arquivado em pastas para controle e rastreabilidade futura. Essa ficha permite acompanhar a evolução do PGRL, apontando quais resíduos são tratados anualmente e, conseqüentemente, o que tem sido gerado na Unidade. Dessa forma, é possível quantificar os resíduos.

RESULTADOS

Desde a adoção do PGRL, a Embrapa Instrumentação tratou em suas dependências aproximadamente 13,7 mil litros de resíduos químicos, sendo 10.840 litros de água utilizada nos lavadores de gases, alcançando a minimização da toxicidade e volume dos resíduos, bem como a disposição final adequada deles. Ainda foi possível que 256 litros de solventes orgânicos retornassem ao laboratório, gerando menos poluição, além da economia de recursos financeiros, já que diminui a necessidade da compra de produtos químicos novos. Também nesse mesmo contexto, a Unidade criou um sistema de reaproveitamento da água de resfriamento utilizada nos destiladores localizados

no Laboratório de Preparação de Amostras. Este sistema, em conjunto com os aeradores implantados nas torneiras dos banheiros, proporcionou uma economia inicial de 40% do volume total de água consumido pela Unidade.

No ano de 2007, foram encaminhados para tratamento externo e destinação final mais de 700 kg de resíduos de laboratórios armazenados desde 2002 (incluindo frascos de armazenamento). Estes resíduos não eram tratáveis ou não tinham POPs de tratamento validados na Unidade. Desde a retirada, armazenou-se novamente 1500 kg de resíduos nas mesmas condições, os quais foram encaminhados no mês de Abril/2013 para destinação final, utilizando o serviço de empresa privada especializada (Figura 4).



Foto: Joana Bresolin

Figura 4. O armazenamento de resíduos para disposição final.

Entretanto, o armazenamento de resíduos aumenta o risco da ocorrência de acidentes, além do fato de que o encaminhamento do passivo a aterros industriais, incineração ou coprocessamento apresenta um custo muito elevado, de aproximadamente R\$ 10,00 por quilo. Este fato estimula ainda mais a menor geração de resíduos e o desenvolvimento de novos protocolos de tratamento e recuperação para diminuir seu acúmulo. Assim, desde sua criação o PGRL conseguiu tratar ou recuperar nas dependências da Unidade aproximadamente 2.850 kg de resíduos químicos (Tabela 2), o que proporcionou uma economia de aproximadamente R\$ 28.500,00, já que se evitou a contratação de serviço de empresa para realizar a destinação final. Além disso, a recuperação de solventes, em especial, e o seu retorno aos laboratórios proporcionou maior economia, pois diminuiu a necessidade da compra de novos produtos químicos.

O PGRL deve sempre atualizar suas atividades para acompanhar as demandas de pesquisas na

Unidade. Até o momento, conta com 21 protocolos de tratamento (POP), disponibilizando orientações aos usuários/geradores de como proceder com o resíduo gerado (Anexo 2). Os POPs constituem a ferramenta-chave para o sucesso do programa, pois detalham o passo a passo do tratamento do resíduo, o que permite que qualquer usuário gerador siga o procedimento padronizado de modo a garantir a efetiva diminuição da toxicidade e/ou volume do seu resíduo.

Em 2011, o programa iniciou um procedimento de avaliação da ecotoxicidade de resíduos antes e após o tratamento. Testes de toxicidade são ensaios laboratoriais utilizados para estimar a toxicidade de substâncias, efluentes e amostras ambientais. Os organismos-testes são expostos a diferentes concentrações de amostra e os efeitos tóxicos são observados e quantificados. Estes testes são ferramentas desejáveis para avaliar a qualidade das águas e a carga poluidora dos efluentes, uma

vez que as análises físico-químicas tradicionais não são suficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes (COSTA et al., 2008). O objetivo dos testes com resíduos é verificar se o tratamento proposto de fato diminui a toxicidade do resíduo para a alga *Pseudokirchneriella subcapitata*, nativa dos corpos d'água da região. O procedimento adotado é baseado em uma norma internacional "Guidelines for the testing of chemicals" (TEXT nº 201, 2011) que consiste em submeter a alga a diferentes concentrações da substância em questão para estimar o valor que equivale à metade da concentração efetiva (EC50), concentração da amostra que causa um efeito agudo a 50% dos organismos nas condições do teste (Figura 5). Apesar de alguns resíduos já terem sua concentração máxima de descarte estabelecida em legislação, este procedimento visa complementar a avaliação dos nossos tratamentos e, dessa forma, permitir o descarte do resíduo com maior segurança.

Tabela 2. Volume de resíduos de laboratório tratados (L) até 2013.

	Ácido/Base	Solventes	*DNS	Metálicos	Outros
Total	1548,27	256,12	747	274	25,75
%	54,5	9	26	9,5	1

*DNS – Ácido 3,5 dinitrosalicílico.

Fonte: Joana Bresolin.

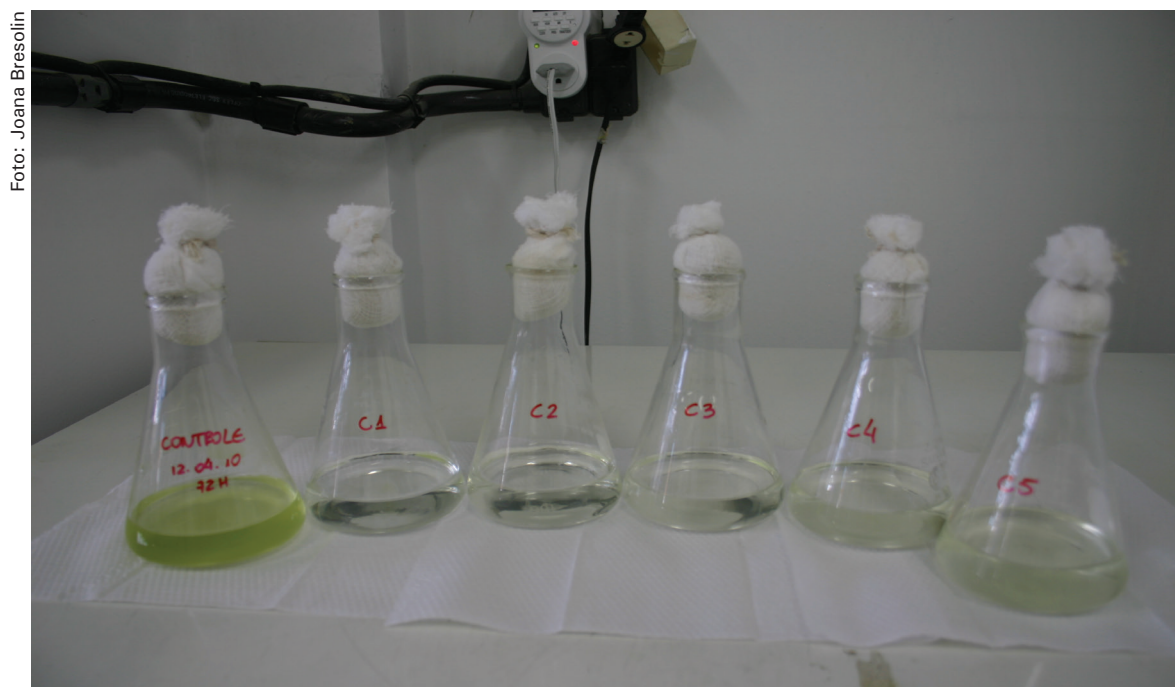


Figura 5. Ensaio ecotoxicológico de resíduo de acetonitrila utilizando a alga *Pseudokirchneriella subcapitata*.

Até o presente momento, os ensaios de ecotoxicidade foram realizados com resíduos cujas composições principais eram: acetonitrila, ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) e nanopartícula de nitrato de prata. Estes resíduos, gerados em grande quantidade, tiveram procedimentos de tratamento desenvolvidos pela equipe e estão demonstrados nos respectivos POPs (Anexo 2).

Para o resíduo contendo acetonitrila, antes do tratamento encontramos o valor de EC50 em 2%. Após o tratamento, a EC50 diminuiu para 1,6%, o que indica que o tratamento torna o resíduo potencialmente mais tóxico para a alga. O ensaio de ecotoxicidade com DNS não foi conclusivo para determinação de EC50. O resíduo apresenta cor laranja intensa e, mesmo em baixas concentrações, interfere no crescimento da alga por impedir a entrada de luz para fotossíntese. No ensaio com resíduos contendo nanopartículas de prata encontramos uma EC50 de 3ppb antes do tratamento. Porém, ainda não conseguimos determinar o valor após seu tratamento, pois os ensaios indicam que o resíduo perde sua toxicidade.

ESTRUTURA FÍSICA

O PGRL possui uma série de equipamentos dedicados ao tratamento de resíduos, como evaporador rotativo, chapas de aquecimento, medidor de pH, banho termostático, agitadores, capela de exaustão com lavador de gases e vidrarias de uso exclusivo. Além destes equipamentos mais simples, o programa dispõe de um fotorreator (Figura 6), um sistema integrado no qual o resíduo entra em contato com lâmpadas de emissão ultravioleta. O equipamento foi projetado e construído por pesquisadores da Unidade com o propósito inicial de tratar resíduos contendo pesticidas por fotodegradação. Apesar disso, seu uso foi expandido e ele é utilizado para tratamento de outros resíduos como antibióticos e o ácido 3,5-dinitrosalicílico, descritos nos POPs 31.01.01.13 e 31.01.01.16 (Anexo 2). Além dos equipamentos, o PGRL possui um laboratório dedicado ao programa "Laboratório de Tratamento de Resíduos de Laboratório" (Figura 7) e um local para armazenamento temporário de resíduos, o "Depósito de Resíduos de Laboratório", que centraliza os resíduos não tratáveis ou que não possuem POP específico. Ambos foram construídos

Foto: Flávio Ubiali



Figura 6. Fotorreator desenvolvido na Embrapa Instrumentação para tratamento de resíduos.

observando-se critérios e normas de segurança para laboratórios, tais como a blindagem de lâmpadas, sistema de exaustão, prateleiras de alvenaria e caixa de contenção de vazamentos.

Também foram adquiridos sistemas de lavadores de gases (Figura 8), instalados em todas as capelas de exaustão presentes nos Laboratórios de Tratamento de Resíduos de Laboratório, de Preparação de Amostras e Síntese de Materiais Nanoestruturados. A poluição ambiental é vista como um dos maiores problemas ambientais a serem enfrentados pela sociedade moderna. Assim, esse sistema filtra os vapores e fumos liberados nas análises antes que atinjam a atmosfera, o que contribui para fechar o ciclo da gestão dos resíduos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação e manutenção do PGRL é uma ação ambiental importante dentro da Embrapa Instrumentação. Desde sua criação foram obtidos avanços significativos que começaram por etapas simples como segregação e rotulagem padronizada, e chegaram à elaboração de POP para tratar resíduos potencialmente tóxicos

Foto: Joana Bresolin



Figura 7. Laboratório de Tratamento de Resíduos de Laboratório da Embrapa Instrumentação.

Foto: Joana Bresolin



Figura 8. Lavador de gases instalado na capela do Laboratório de Tratamento de Resíduos de Laboratório.

e para a construção de novas infraestruturas para tratamento/armazenamento adequado de resíduos. Outros avanços importantes têm sido observados como: maior participação dos usuários geradores, conscientização dos usuários em minimizar os resíduos gerados e maior volume de resíduos tratados. Isto evidencia a preocupação e conscientização da Embrapa Instrumentação em relação aos resíduos gerados nos seus laboratórios de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, M. C. L.; FERNANDES, M. A. (Coord.). Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: MMA: IBAMA: Consórcio parceria 21 IBAM-ISER-REDEH, 2000. 155 p.

BRASIL. Congresso. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 23 jul. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 23 jul. 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (Brasil). Resolução nº 357, de 17 mar. 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa**

do Brasil, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (Brasil). Resolução nº 430, de 13 maio 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (Brasil). Resolução nº 316, de 29 out. 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 224, p. 92-95, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (Brasil). Resolução nº 264, de 26 ago. 1999. Dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 54, p. 80-83, 2000, seção 1 Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

COSTA, R. C.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M.; ESPINDOLA, L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

FIGUERÊDO, D. V. **Manual para gestão de resíduos químicos perigosos de instituições de ensino e de pesquisa**. Belo Horizonte: CRQMG, 2006. 364 p.

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.

NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Quincy, c2014. Disponível em: <<http://www.nfpa.org>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

REINHARDT, P. A.; LEONARD, K. L.; ASHBROOK, P. C. **Pollution, prevention and waste minimization in laboratories**. [S. l.]: CRC Press, 1996. 480 p.

TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos e Águas Servidas nos Laboratórios de Ensino e Pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 732-738, 2005.

TEXT nº 201: Freshwater alga and cyanobacteria, growth inhibition test. In: OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Guidelines for the testing of chemicals. Paris, 2011. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

ANEXO 1

INCOMPATIBILIDADE DE ALGUNS REAGENTES QUÍMICOS

Reagente	Incompatível
Acetileno	Cloro, bromo, flúor, cobre, prata e mercúrio.
Acetonitrila	Ácido sulfúrico, oxidantes fortes (percloratos e nitratos) e redutores (Na e Mg (metálicos)).
Ácido acético	Ácido nítrico concentrado, ácido crômico, peróxidos, permanganatos.
Ácido fosfórico	Bases fortes, cloratos, nitratos e carbeto de cálcio.
Ácido nítrico concentrado	Bases fortes, anilinas, compostos nitroaromáticos, sulfeto de hidrogênio, ácido acético, éter etílico, líquidos e gases inflamáveis.
Ácido perclórico	Enxofre, álcoois, anidrido ou ácido acético, solventes e combustíveis, papel e madeira.
Ácido sulfúrico	Cloratos, percloratos, permanganato de potássio, Li, Na, bases, nitratos, pós-metálicos e solventes.
Bromo/cloro	Hidróxido de amônio, benzeno, benzina de petróleo, propano, butadienos, acetileno, hidrogênio e pós-metálicos.
Cianetos	Ácidos.
Cloreto de Hg (II)	Sulfitos, aminas, ácidos fortes, bases fortes, fosfatos e carbonatos.
Cobre metálico	Peróxido de hidrogênio e acetileno.
Éter etílico	Ácidos (nítrico e perclórico), peróxido de sódio, cloro e bromo.
Hidrocarbonetos	Ácido crômico, peróxidos, flúor, cloro, bromo, percloratos e outros oxidantes fortes.
Hidróxido de amônio	Ácidos, oxidantes fortes, peróxidos, cloro e bromo.
Hidróxido de sódio	Ácidos, solventes clorados, oxidantes fortes.
Líquidos inflamáveis	Ácido nítrico, nitrato de amônio, peróxidos, hidrogênio, flúor, cloro, bromo e óxido de cromo (VI).
Óxido de cromo (VI)	Ácido acético, glicerina, líquidos inflamáveis e naftaleno.
Prata metálica	Acetileno, ácido oxálico e ácido tartárico.
Tetracloroeto de carbono	Metais (Al, Be, Mg, Na, K e Zn), hipoclorito de cálcio, álcool alílico, dimetil-formamida e água (forma gases tóxicos).
Permanganato de potássio	Glicerina, etileno glicol, benzaldeído, ácido sulfúrico e solvente orgânico.
Iodo	Acetileno, hidróxido de amônio e hidrogênio.
Peróxido de hidrogênio	Álcoois, anilina, cloreto estanhoso, cobre, cromo, ferro, sais metálicos, nitrometano e líquidos inflamáveis.

ANEXO 2

LISTA DE PROTOCOLOS OPERACIONAIS PADRÃO (POP) UTILIZADOS NA EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO

POP 31.01.01.01 Procedimento de **segregação e rotulagem e preenchimento da ficha histórico de resíduos**.

POP 31.01.01.02 Tratamento de resíduos aquosos ácidos (sem fluoretos).

POP 31.01.01.03 Tratamento de resíduos aquosos **alcalinos**.

POP 31.01.01.04 Procedimento de limpeza e recuperação de resíduos contendo **mercúrio metálico**

POP 31.01.01.05 Procedimento de recuperação de **acetona** em resíduos aquosos.

POP 31.01.01.06 Procedimento de recuperação de **etanol** em resíduos aquosos.

POP 31.01.01.07 Tratamento de resíduos aquosos contendo **bário**.

POP 31.01.01.08 Tratamento de resíduos aquosos ácidos (com fluoretos).

POP 31.01.01.09 Tratamento de resíduos **biológicos**.

POP 31.01.01.10 Procedimento de recuperação de **resinas de troca iônica** do tipo amberlite.

POP 31.01.01.11 Tratamento de resíduos aquosos contendo **polímeros condutores**.

POP 31.01.01.12 Tratamento de resíduos aquosos contendo **acetonitrila**.

POP 31.01.01.13 Tratamento de resíduos aquosos contendo ácido 3,5-dinitrosalicílico (**DNS**).

POP 31.01.01.14 Tratamento de resíduos contendo **acrilamida**.

POP 31.01.01.15 Tratamento de resíduos aquosos contendo **crômio**.

POP 31.01.01.16 Tratamento de resíduos aquosos contendo oxitetraciclina (**OTC**).

POP 31.01.01.17 Tratamento de resíduos aquosos provenientes do sistema **lavador de gases**.

POP 31.08.01.18 Procedimento de uso do **Fotorreator**.

POP 31.08.01.19 Procedimento de uso do **Ozonizador**. POP 31.01.01.20 Tratamento de resíduos aquosos contendo **Hexano**.

POP 31.01.01.21 Identificação de resíduos **Desconhecidos**.

Comunicado Técnico, 116

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação
 Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741
 CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 2107 2800 - **Fax:** 16 2107 2902
<https://www.embrapa.br/instrumentacao>
1ª edição
 1ª impressão 2014: tiragem 300

Ministério da
 Agricultura, Pecuária
 e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: João de Mendonça Naime
Membros: João de Mendonça Naime, Valéria de Fátima Cardoso, Cristiane Sanchez Farinas, Elaine Cristina Paris, Maria Alice Martins, Cinthia Cabral da Costa.

Expediente

Membro suplente: Paulo Renato Orlandi Lasso
Revisor editorial: Valéria de Fátima Cardoso
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Revisão de texto: Hamilton Fernandes
Tratamento das ilustrações: Maurício Marcelo
Editoração eletrônica: Aline Maya