

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DOS LABORATÓRIOS DA EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE

Ana Rita de Araujo Nogueira¹
Gilberto Batista de Souza^{1,2}
Luciana Corrêa de Almeida Regitano¹
Mário Henrique Gonzalez³

RESUMO

O Programa para o Gerenciamento de Resíduos Químicos da Embrapa Pecuária Sudeste foi implementado a partir de outubro de 2002. Por estar localizada em área rural, algumas características são singulares, tais como a captação e a utilização de água diretamente de uma nascente, o que aumenta a necessidade de implementação deste Programa. Como ação inicial, os laboratórios foram adaptados visando a segurança e o tratamento e a recuperação dos resíduos. Paralelamente foram realizados o levantamento do passivo e a catalogação dos resíduos gerados nas determinações de rotina nos laboratórios em atividade na Unidade, identificando os componentes químicos e/ou biológicos presentes, o volume gerado e os processos responsáveis por sua geração, assim como as alternativas existentes para o tratamento desses resíduos. As necessidades imediatas foram definidas, sendo priorizadas a neutralização de resíduos de digestão e o tratamento de solução sulfocrômica, gerada pela determinação de matéria orgânica de solo e do brometo de etídio, utilizado no laboratório de biotecnologia. Procedimentos voltados à substituição de técnicas que empregam grande volume de reagentes e geram grande quantidade de resíduos foram implementados. Também estão sendo desenvolvidos métodos cujo enfoque principal é a substituição e minimização de reagentes tóxicos e a melhoria da qualidade dos resultados analíticos. Após certificação, os métodos são colocados em rotina. A equipe que está coordenando o projeto, constituída de pesquisadores, técnicos de segurança e de laboratório e estudantes bolsistas, procura orientar os trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com as atividades dos laboratórios sobre o destino ideal para cada descarte, atuando como multiplicadora de informação. Certamente ainda existe um grande trabalho pela frente, mas as perspectivas são animadoras, considerando-se a contribuição para a sustentabilidade ambiental, para a melhoria da “consciência ambiental” e para a divulgação disso para a sociedade.

PALAVRAS-CHAVE – tratamento de resíduos, minimização, análise em fluxo, preparo de amostras

-
1. Embrapa Pecuária Sudeste, c. P. 339, 13560-970, São Carlos SP. Email: anarita@cppse.embrapa.br
 2. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos SP
 3. Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos SP

INTRODUÇÃO

A preocupação com a mudança da visão nos laboratórios químicos frente à redução do volume e tratamento dos resíduos gerados é tema recorrente em discussões sobre poluição ambiental. Os benefícios obtidos com a minimização dos resíduos incluem a racionalização dos procedimentos visando menor consumo de reagentes e o decréscimo dos custos com tratamento e disposição final, além de colaborar com a segurança do operador e da comunidade, uma vez que previne a contaminação ambiental, seja por despejos gasosos, sólidos ou líquidos. A prevenção da poluição é a mais alta forma de proteção ambiental. Se a redução da fonte geradora não é possível, então a poluição deve ser reciclada de maneira ambientalmente segura. Se a reciclagem também não for possível, então a poluição deve ser evitada, com modificação metodológica do processo analítico. O descarte no ambiente deverá ser entendido e praticado como último recurso, sendo realizado de maneira ambientalmente segura (Reinhardt et al., 1996).

Número crescente de atividades de pesquisa e de amostras processadas, sendo grande parte dos trabalhos desenvolvidos nos seus diferentes laboratórios gera, em consequência, quantidade cada vez maior de resíduos de diferentes características. Na Embrapa Pecuária Sudeste, procedimentos com o objetivo de minimizar os resíduos provenientes de análises químicas vêm sendo implantados desde 1990, com a introdução em rotina de diferentes métodos, em fluxo ou em batelada, que empregam menores quantidades de reagentes por amostra. Alguns desses métodos foram desenvolvidos na própria Embrapa Pecuária Sudeste e, após certificação, incorporados à rotina dos laboratórios. Outros métodos foram adaptados de procedimentos descritos na literatura. A implantação de Programa de Tratamento de Resíduos, a partir de projeto de infra-estrutura financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP)

a demanda de análises de rotina, em que também atuam os laboratórios da Embrapa, tem aumentado. Isso se deve à necessidade de adaptação de tecnologias agropecuárias competitivas e apropriadas, que, intensificando a utilização de insumos e recursos naturais, exige maior controle de todo o sistema por meio de análises laboratoriais com resultados analíticos rápidos e confiáveis.

Dentre as determinações realizadas como rotina no Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Pecuária Sudeste destacam-se entre outras: matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, celulose, lignina, energia bruta, extrato etéreo, digestibilidade “in vitro”, determinação de taninos, macronutrientes (Ca, Mg, P, K, S), micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe) em forrageiras e rações animais, marcadores de digesta de ruminantes (Co, Cr, Eu, Dy e Yb), além de análise de leite (proteína, gordura). As determinações de rotina realizadas no Laboratório de Solos são: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, H+Al, enxofre, boro, cobre, zinco, manganês, ferro e análise granulométrica.

Além das determinações de rotina, nos laboratórios de Espectroscopia e Análise em Fluxo e de Biotecnologia são desenvolvidos diferentes projetos de dissertações e teses, executados por alunos de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado.

O Programa de Gerenciamento de Resíduos foi implementado tomando por base as seguintes atividades (Reinhardt, 1996; USDA, 1998; Jardim, 1998):

- a) inventário e classificação dos resíduos em função de suas características físicas e químicas;
- b) separação dos resíduos diretamente na fonte em que são gerados, prevenindo-se a mistura de resíduos perigosos com sólidos, evitando o aumento do perigo e do volume final de despejos;

melhoria da segurança do ambiente de trabalho, com diminuição da exposição dos trabalhadores aos produtos potencialmente tóxicos, com melhora da qualidade ambiental e segurança da comunidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Levantamento do passivo

O passivo compreende todo aquele resíduo estocado, via de regra não-caracterizado, que aguarda a destinação final. Inclui desde restos reacionais, passando por resíduos sólidos, até frascos de reagentes ainda lacrados, mas sem rótulo. Foram elaborados protocolos de procedimento para caracterização dos resíduos e reagentes não identificados, seguindo procedimentos clássicos de química analítica qualitativa. A separação está relacionada a inflamabilidade, reatividade e corrosividade do material.

Em função da Embrapa Pecuária Sudeste estar localizada em uma fazenda experimental, foram encontrados, além de diversos reagentes sem identificação, também depósitos de embalagens de agrotóxicos. Para direcionamento correto desses resíduos, foi criada a “Comissão de descarte de embalagens de agrotóxicos”, que está trabalhando com a equipe envolvida na implantação do Programa de tratamento de resíduos no sentido de se adequar os procedimentos. Foram realizadas palestras para sensibilização dos usuários, as embalagens sofreram a tríplice lavagem, sendo encaminhadas à fábrica de reciclagem autorizada para o recebimento deste tipo de material e as embalagens de papel estão separadas, aguardando destino adequado.

2. Levantamento de necessidades e prioridades

- b) seleção dos resíduos ou dos laboratórios-alvo;
- c) identificação e seleção das opções mais eficientes de minimização, tratamento e/ou descarte;
- d) implantação de sistema para tratamento, neutralização e lavagem de gases gerados nas capelas.

Modelo de etiqueta foi adaptado para impressão e rotulagem dos frascos contendo os dados sobre periculosidade e armazenamento. Nesse item também se incluem as fichas de utilização de equipamentos, assim como a documentação dos procedimentos adotados para o gerenciamento dos resíduos. Todos os laboratórios receberam pastas com os dados referentes aos reagentes ali manipulados e têm acesso às etiquetas e tratamentos adotados (www.cppse.embrapa.br/residuos). Para se evitar o aumento da periculosidade e facilitar uma destinação final, optou-se por adquirir recipientes menores para onde os resíduos gerados pelos diferentes procedimentos são direcionados. Após avaliação e racionalização, as soluções são enviadas ao laboratório de tratamento de resíduos para serem processadas.

No caso dos laboratórios de pesquisa, onde os tipos de materiais empregados são diversificados e utilizados por um período fixo, os trabalhos estão voltados prioritariamente a um estudo mais qualitativo do que quantitativo e os próprios pesquisadores e alunos envolvidos nessas pesquisas estão se inteirando da responsabilidade de indicar alternativas para garantir o destino ambiental adequado para os resíduos gerados.

A partir do levantamento das análises e do volume gerado pelos laboratórios, foi possível se priorizar alguns tratamentos mais urgentes e necessários. Dentre todos os procedimentos, foram priorizados, devido à urgência e grande volume já armazenado: a) a neutralização de soluções ácidas e básicas, provenientes de digestões para determinações

importante do Programa que visa a segurança e a conservação ambiental, foi a implementação de tratamento dos gases gerados nas capelas. Novas legislações estão atentas ao problema, além de ser evidente o risco provocado às pessoas que entram em contato com esse ambiente. Os laboratórios foram adaptados visando o controle dos gases gerados, com instalação de filtros em capelas que utilizam reagentes orgânicos e sistema para lavagem e neutralização em capelas em que são manipulados ácidos.

Também foi realizada a adaptação de laboratório para análise, tratamento e armazenamento de resíduos. Neste laboratório são realizados os procedimentos de minimização, identificação, recuperação, armazenamento e redirecionamento dos resíduos. Foram instaladas capelas e prateleiras, com sistemas adequados de segurança e proteção contra vazamentos. Externamente foi instalado tanque para controle dos lavadores de gases e lavagem de embalagens vazias para reutilização. A água proveniente dos resfriadores dos destiladores, que utilizam água captada diretamente de uma nascente da Fazenda Canchim (local onde estão localizados os laboratórios), foi canalizada visando seu retorno ao córrego por gravidade, sendo o resfriamento realizado durante o percurso. Visando segurança, portas tiveram seu sentido invertido e equipamentos de proteção individual e coletiva foram adquiridos, sendo oferecidos cursos e instrução de utilização pelo técnico de segurança.

Paralelamente, iniciou-se o levantamento do passivo e priorização das demandas. A entrada de amostras nos laboratórios de nutrição, solos, biotecnologia e sanidade animal é constante durante todo o ano e na sua grande maioria as análises têm como objetivo, respectivamente, a determinação de proteína bruta, determinada a partir do teor de nitrogênio, a avaliação da fertilidade, a análise de marcadores moleculares do tipo microsatélite e RFLP, e o soro-diagnóstico de doenças infecciosas. Nesse enfoque, foi

visualização de pontos de contaminação com brometo de etídio. Os resíduos biológicos passaram a ser autoclavados e encaminhados para incineração ou descarte apropriado por empresa especializada.

Para se evitar o uso de reagentes diferentes, a neutralização entre os resíduos é realizada sempre que possível, após verificação de incompatibilidades. Foram estabelecidos protocolos para o gerenciamento de resíduos de brometo de etídio (Ausubel et al., 1995) e sulfocrômica (Coelho, 2002; Alberguini, 2002). Também foi avaliado método alternativo, que emprega açúcar para a redução do Cr (VI) (Martin et al., 2002).

Diferentes alternativas de preparo de amostras empregando radiação microondas já vinham sendo desenvolvidos em trabalhos de doutorado e pós-doutorado desenvolvidos na Embrapa Pecuária Sudeste. Dentre essas metodologias, podem ser citados o uso de ácidos diluídos para a digestão de amostras e o emprego de um mesmo programa de aquecimento para decomposição de tecidos animal e vegetal com diferentes teores de gordura (Araújo et al., 2002; Carrilho et al., 2001).

Início das atividades do laboratório de tratamento de resíduos

A coleta e a identificação dos resíduos gerados na rotina dos laboratórios estão sendo feitas desde 10/2002. Estabeleceu-se o direcionamento mais adequado a cada solução, a partir de dados relacionados à alcalinidade ou acidez, a presença de cianetos e sulfetos, o caráter oxidante ou redutor, a presença de halogênios e à inflamabilidade. Foram realizados estudos sistemáticos de incompatibilidade entre as substâncias químicas para verificação da possibilidade de neutralização entre os próprios resíduos, evitando-se o uso de outros reagentes.

Os metais são tratados e oxidados ou reduzidos até seu estado de oxidação mais

Vale ressaltar a constante procura para implementação de procedimentos que não exijam consumo exagerado de reagentes, diminuindo assim a manipulação de produtos agressivos (National Research Council, 2000).

Outras alternativas direcionadas à economia de energia e o fornecimento de resultados mais confiáveis foram avaliadas e implementadas em rotina. A determinação de matéria seca e umidade em amostras de solos e plantas empregando forno de microondas doméstico foi proposta com esse objetivo. A secagem de solos em estufas (método normalmente empregado) requer pelo menos 12 horas para a completa desidratação e o método proposto cerca de 10 min. Além da economia de energia, os resultados são fornecidos em tempo bem mais rápido. Esse fato é importante, por exemplo, quando se deseja verificar a necessidade de irrigação ou o controle de umidade de amostras armazenadas em silos (Souza et al., 2002).

Desenvolvimento de sistemas em fluxo

Além dos sistemas em fluxo já implementados em rotina, como determinação de fósforo e calcário residual, foi desenvolvido sistema para determinação de N em amostras de solos e plantas e nitrato e nitrito em amostras de solos. A determinação das várias formas de nitrogênio em amostras agronômicas apresenta grande importância, principalmente na formulação de rações para um ótimo desempenho animal. É nessas rações que encontramos a proteína como um dos seus componentes básicos. Em análise para avaliação da fertilidade dos solos, o nitrogênio é um dos elementos essenciais para o crescimento das plantas e representa um dos nutrientes comumente aplicados ao solo como fertilizante, sendo freqüente a necessidade de um grande número de análises.

Com o objetivo de aumentar a eficiência laboratorial e reduzir os custos mantendo,

Para o tratamento dos resíduos gerados nessa reação, foi desenvolvida metodologia de tratamento em fluxo, baseada na oxidação fotoquímica dos compostos orgânicos a um pH ácido. É composta de uma lâmpada germicida de ultravioleta (6 W) onde foi enrolado reator composto de tubo de polietileno de 4 m de comprimento e 0,8 mm de diâmetro. Esse conjunto foi adaptado em uma caixa de madeira (60 x 20 x 40 cm) com paredes internas recobertas com folhas de alumínio. O resíduo entra em contato com solução ácida contendo peróxido de hidrogênio a qual é direcionada à lâmpada de UV, onde acontece a mineralização do resíduo através da ação dos radicais hidroxila gerados tanto pelo peróxido quanto pela radiação UV. Esse método permite a análise de 50 a 60 amostras por hora em lugar das 10 amostras realizadas no mesmo período de tempo pelo método anterior. Implantado em rotina, está sendo utilizado em substituição ao método por arraste a vapor (Kjeldahl). São feitas cerca de 2400 determinações por mês (2 horas/dia), consumindo menor quantidade de amostras e reagentes e gerando menos resíduo. Este procedimento, desenvolvido em trabalho de doutorado financiado pela FAPESP, foi publicado como boletim de pesquisa como forma de divulgação (Lemos et al., 2002).

Controle de contaminação por brometo de etídio

Monitoramento das áreas utilizadas para eletroforese submarina em gel de agarose, permitindo a visualização de pontos de contaminação com brometo de etídio está sendo realizada com luz ultra-violeta portátil. Outra vantagem do emprego do sistema manual é permitir o monitoramento dos géis de eletroforese durante o processo de separação das moléculas de DNA. Antes da aquisição deste acessório, o gel de agarose era retirado da cuba durante o processo de eletroforese e levado ao transiluminador para verificar o grau de separação das moléculas. Esse procedimento resultava no descarte de luvas e de papéis

de vários tipos de analitos de diferentes tipos de amostras, atendendo as metodologias de extração com fluido pressurizado da Environmental Protection Agency (EPA, método 3545). A realização desta determinação de maneira bastante confiável, rápida e segura está sendo implementada empregando equipamento extrator da Ankom (Komarek & Kelley, 2001). Como o equipamento emprega quantidades muito inferiores de reagentes, a contribuição para a minimização da produção de resíduos químicos está sendo bastante efetiva. O método usual, “extrator Soxhlet”, realiza apenas 12 amostras em duplicata por semana, com o uso de cerca de 120 ml/amostra (*c.a.* 2,0 l/semana) de éter, já que as amostras com altos teores de gordura (*ex.*, vísceras), exigem extração prolongada (até 48 h). Com o uso do extrator de gorduras, a mesma extração é realizada em 15 min, reduzindo em 90 % o consumo de solvente.

Implantação do sistema automatizado de detecção de fragmentos de DNA

Sequenciador automático, que utiliza sistema ótico para leitura de fragmentos de DNA marcados com fluorescência, está sendo utilizado, contribuindo para a diminuição da geração de resíduos durante análise de marcadores microssatélites. A detecção de alelos de microssatélites por coloração por impregnação com prata deixou de ser utilizada na rotina, ficando restrita aos testes iniciais necessários à otimização de novos marcadores. Essa mudança resulta em redução do volume de resíduos gerados, como descrito a seguir:

Resíduos químicos gerados pela coloração com prata:

Solução aquosa contendo 10 % de etanol e 10 % de ácido acético (1,5 L/gel); ácido nítrico a 1 % (1,5 L/gel); solução de nitrato de prata a 0,1% e formaldeído a 0,05 % (1,5 L/gel). O volume anual gerado para cada uma das três soluções descritas acima é de 255 L.

A reação de impregnação é concluída pela adição de 1,5 L de uma solução de

Considerações Finais

A equipe que atua no Programa, constituída de pesquisadores, técnicos de segurança e de laboratório e bolsistas, procura orientar os trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com a manipulação de resíduos sobre o destino ideal para cada descarte, atuando como multiplicadora de informação. Além das atividades normalmente desenvolvidas por todos os participantes do Programa, a preocupação com o destino final dos reagentes e embalagens se tornou uma prática usual, indicando uma conscientização para o problema.

A realização de cursos e treinamentos para os empregados dos laboratórios, estudantes e pesquisadores sobre a importância da segurança, da minimização, do tratamento e da eliminação dos resíduos gerados nos laboratórios, bem como dos procedimentos adequados para cada situação é constante.

Como forma de obter maiores informações para a implantação correta dos procedimentos, foi adotado pela coordenação do Programa um constante contato com pesquisadores da área, assim como avaliação e visitas a outras instituições de pesquisa e ensino que já implantaram ou estão implantando seus Programas de Gerenciamento de Resíduos. Ainda, são sendo realizadas palestras e visitas técnicas de especialistas na área à nossa Instituição, para maior intercâmbio de conhecimentos.

A implantação do Programa de Gerenciamento de Resíduos da Embrapa Pecuária Sudeste ajusta-se às determinações da legislação ambiental brasileira e é um objetivo coerente com a tendência global de gerenciamento ambiental com produção eficiente, econômica e limpa.

Referências Bibliográficas

- Alberguini, L., Laboratório de Resíduos Químicos, IQSC, USP, comunicação pessoal, 08/2002.
- American Chemical Society, *Less is Better, Laboratory Chemical Management for Waste Reduction*, 1993. 23 p.
- Araújo, J.C.L., Gonzalez, M.H., Ferreira, A.G., Nogueira, A.R.A., Nóbrega, J.A., Effect of acid concentration on closed vessel microwave-assisted Acid digestion of plant materials. **Spect. Acta B**, **57(12)** 2121-2132 (2002).
- Ausubel, F. M. et al. *Current Protocols in Molecular Biology*. John Wiley & Sons, Inc. 1988. vol. 3.
- Carrilho, E. N. V. M., Nogueira, A. R. A., Nóbrega, J. A., Souza G. B. e Cruz, G. M. "An attempt to correlate fat and protein content of biological samples with the residual carbon after microwave-assisted digestion" *Fresenius J. Anal. Chem.*, 371,536-540, 2001
- Coelho, F.A.S., Curso "Segurança em Laboratórios e Tratamento de Resíduos", XXII Escola de Verão em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos SP, 25/02 a 01/03/2002.
- Jardim, W.F., Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**, **21(5)**, 1998, 671p.
- Komarek, R.J. & Kelley, C.L., Precision of fat analysis of plant products with the ANKOM^{XT20} fat analyzer. Research Report 02, Anko Technology. 2002.
- Lemos, S.G., Nogueira, A.R.A., Souza, G.B., Determinação de formas inorgânicas de nitrogênio por análise em fluxo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa, 2002, 23 p.
- Martin, F.C.N., Pinto, S.R.V., Souza, G.B., Nogueira, A.R.A., Tratamento dos resíduos gerados pela oxidação da matéria orgânica do solo com o emprego de solução sulfocrômica. XLII Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro, 9-13/09/2002 pg. 623.
- Miyazawa, M., Pavan, M.A., Oliveira, E.L., Yonashiro, M. & Silva, A.K., Gravimetric determination of soil organic matter, *Braz. Arch. Biol. Techn.* 43(5) p.475-478.2000.
- National Research Council, *Committee on Prudent Practices for Handling, Storage and Disposal of Chemical in Laboratories*. National Academic Press, Washington, 2000. 427p.
- Reinhardt, P.A.; Leonard, K.L. E Ashbrook, P.C., *Pollution, prevention and waste minimization in laboratories*, CRC Press, 1996, 480p.
- Souza, G.B., Nogueira, A.R.A., Rassine, J.B., Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas empregando forno de microondas doméstico. Circular Técnica 33, Embrapa, 2002.
- USDA Chemical Waste Management Training Manual, A user's guide for Beltsville area employees and tenants, US Department of Agriculture, 1998.
- www.cppse.embrapa/residuos.