

Wilson de Figueiredo Jardim

Instituto de Química - UNICAMP - Laboratório de Química Ambiental - CP 6154 - 13081-970 - Campinas

Recebido em 3/10/97; aceito em 17/12/97

WASTE MANAGEMENT PROGRAM FOR CHEMICAL RESIDUES IN BOTH TEACHING AND RESEARCH LABORATORIES. The generation of chemical residues in both teaching and research laboratories is a serious problem in Brazil. In this article, a Chemical Residues Management Program is presented and discussed. The Program is centered in different hierarchic positions, but driven by minimization. A common ground for discussion and distribution of related information is also proposed as a mean to spread the program throughout Brazilian Universities.

Keywords: chemical residues; management; academic institutions.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa no Brasil sempre foi um assunto muito pouco discutido. Na grande maioria das universidades (e em especial nos Institutos e Departamentos de Química), a gestão dos resíduos gerados nas suas atividades rotineiras é inexistente, e devido à falta de um órgão fiscalizador, o descarte inadequado continua a ser praticado.

No atual cenário, onde vários segmentos da sociedade vêm cada vez mais se preocupando com a questão ambiental, as universidades não podem mais sustentar esta medida cômoda de simplesmente ignorar sua posição de geradora de resíduos, mesmo porque esta atitude fere frontalmente papel que a própria universidade desempenha quando avalia (e geralmente acusa) o impacto causado por outras unidades de geradoras de resíduo fora dos seus limites físicos. Assim sendo, frente ao papel importante que as universidades desempenham na nossa sociedade, frente à importância ambiental que estes resíduos podem apresentar, e por uma questão de coerência de postura, é chagada a hora das universidades, e em especial dos Institutos e Departamentos de Química, implementarem seus programas de gestão de resíduos.

Frente ao exposto, o objetivo maior deste artigo é o de apresentar as **linhas básicas** que devem ser seguidas para a implementação de um Plano de Gestão de Resíduos. A proposta aqui apresentada é fruto não apenas de experiências compiladas na literatura internacional, mas também daquela vivenciada e aprimorada dentro do Instituto de Química da UNICAMP, e mais especificamente, dentro do Laboratório de Química Ambiental (LQA).

PRÉ-REQUISITOS PARA IMPLEMENTAR O PROGRAMA DE GESTÃO

A implementação de um programa de gestão de resíduos é algo que exige, antes de tudo, mudança de atitudes, e por isto, é uma atividade que traz resultados a médio e longo prazo, além de requerer realimentação contínua. Por ser um programa que, uma vez implementado, o mesmo terá atuação perene dentro da unidade geradora de resíduo, é muito importante que o mesmo seja muito bem equacionado, discutido e assimilado por todos aqueles que serão os responsáveis pela manutenção e sucesso do mesmo. Deste modo, as premissas (e condições) básicas para sustentar um programa desta natureza são 4:

- 1- O apoio institucional irrestrito ao Programa
- 2- Priorizar o lado humano do Programa frente ao tecnológico
- 3- Divulgar as metas estipuladas dentro das várias fases do Programa
- 4- Reavaliar continuamente os resultados obtidos e as metas estipuladas

É importante que a instituição esteja realmente disposta a implementar e sustentar um programa de gerenciamento de resíduos, pois o insucesso de uma primeira tentativa via de regra desacredita tentativas posteriores. Outro aspecto importante é o humano, pois o sucesso do programa está fortemente centrado na mudança de atitudes de todos os atores da unidade geradora (alunos, funcionários e docentes). A divulgação interna e externa do Plano de Gestão de Resíduos é fundamental para a conscientização e difusão das idéias e atitudes que o sustentarão; e finalmente, trabalhando com metas pouco ambiciosas (e reais), deve-se sempre reavaliar os êxitos (ou insucessos) obtidos, redirecionando-as se preciso for para que o programa seja factível.

A HIERARQUIA NO GERENCIAMENTO

Ao ser implementado, inicialmente um programa de gerenciamento de resíduos deve contemplar dois tipos de resíduos: o **ativo** (gerado continuamente fruto das atividades rotineiras dentro da unidade geradora), e o **passivo**, que compreende todo aquele resíduo estocado, via de regra não-caracterizado, aguardando destinação final (o passivo inclui desde restos reacionais, passando por resíduos sólidos, até frascos de reagentes ainda lacrados mas sem rótulos)¹⁻³. A grande maioria das unidades geradoras do Brasil não têm o passivo. Se por um lado a inexistência deste estoque muito facilita na implementação do Programa de Gestão, por outro lado mostra a realidade com que os resíduos sempre foram tratados nas universidades.

A caracterização deste passivo nem sempre é possível, e o tempo e os esforços gastos com esta atividade inicial devem ser bem equacionados para que não haja um desestímulo logo no início. É importante lembrar que esta caracterização prioriza o reciclo e o reuso de tudo que for possível, bem como habilita o resíduo para a sua destinação final (geralmente a incineração). A tabela 1 traz uma série de testes simples que podem ser usados na caracterização preliminar do passivo.

Dentro o passivo, é muito comum se encontrar frascos sem rótulos, mas que contêm reagentes caros, ainda íntegros, e cujo reuso depende apenas de testes analíticos relativamente simples. Neste caso convém dedicar um tempo maior na caracterização

Tabela 1. Protocolo para a caracterização preliminar de resíduos químicos não-identificados¹.

Teste a ser realizado	Procedimento a ser seguido
Reatividade com água	Adicione uma gota de água e observe se há a formação de chama, geração de gás, ou qualquer outra reação violenta.
Presença de cianetos	Adicione 1 gota de cloroamina-T e uma gota de ácido barbitúrico/piridina em 3 gotas de resíduo. A cor vermelha indica teste positivo.
Presença de sulfetos	Na amostra acidulada com HCl, o papel embebido em acetato de chumbo fica enegrecido quando na presença de sulfetos.
pH	Usar papel indicador ou pHmetro
Resíduo oxidante	A oxidação de um sal de Mn(II), de cor rosa claro, para uma coloração escura indica resíduo oxidante
Resíduo redutor	Observa-se a possível descoloração de um papel umedecido em 2,6-dicloro-indofenol ou azul de metileno
Inflamabilidade	Enfie um palito de cerâmica no resíduo, deixe escorrer o excesso e coloque-o na chama
Presença de halogênios	Coloque um fio de cobre limpo e previamente aquecido ao rubro no resíduo. Leve à chama e observe a coloração: o verde indica a presença de halogênios
Solubilidade em água	Após o ensaio de reatividade, a solubilidade pode ser avaliada facilmente

¹ Testes realizados após separar uma pequena alíquota (~1 g) que seja representativa do resíduo. Esquema baseado nas referências citadas (vide ref. 14)

destes resíduos. Cabe também lembrar que após a implementação do programa, com a rotulagem e identificação de todos os reagentes usados sendo feita em rotina, o passivo tende a ser cada vez menor e de mais fácil manejo.

O ativo é aquele resíduo gerado rotineiramente nas atividades de ensino e de pesquisa, ou seja, o principal alvo de qualquer programa de gerenciamento. Neste caso, a experiência tem mostrado que o mais produtivo é se dividir a implementação do programa em duas partes: começar enfocando, primeiramente, os resíduos gerados nas atividades de ensino (aulas de laboratório), pois estes podem ser facilmente caracterizados, inventariados e gerenciados. Tendo adquirido certa prática na gestão deste tipo de resíduos, a segunda etapa de implementação se expande para os laboratórios de pesquisa, onde a natureza e a quantidade de resíduos variam muito.

Independentemente de qual das atividades geradoras de resíduo (ensino ou pesquisa) serão abordadas, um programa de gerenciamento deve sempre adotar a regra da **responsabilidade objetiva**, ou seja, **quem gerou o resíduo é responsável pelo mesmo**, e praticar sempre a seguinte hierarquia de atividades:

- 1- Prevenção na geração de resíduos (perigosos ou não)
- 2- Minimizar a proporção de resíduos perigosos que são inevitavelmente gerados
- 3- Segregar e concentrar correntes de resíduos de modo a tornar viável e economicamente possível a atividade gerenciadora
- 4- Reuso interno ou externo
- 5- Reciclar o componente material ou energético do resíduo
- 6- Manter todo resíduo produzido na sua forma mais passível de tratamento
- 7- Tratar e dispor o resíduo de maneira segura

Estas atitudes podem ser facilmente traduzidas para a rotina de funcionamento da unidade geradora de várias maneiras. Por exemplo, há certos tipos de reagentes, tais como Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , H_2S , benzeno, formalina, que por serem altamente impactantes e tóxicos, devem se evitados, o que é quase sempre possível nas aulas de laboratório por simples substituição de um experimento^{4,6}. A prevenção aqui exemplificada tem,

portanto, uma faceta pedagógica importante, e deve, neste contexto, ser explorada na sua plenitude pelos docentes envolvidos tanto com o ensino como com a pesquisa.

A minimização também pode ser facilmente implementada num laboratório de ensino ou de pesquisa⁷⁻⁹. O que se nota hoje em dia é que há um distanciamento muito grande entre a química que se ensina nos cursos experimentais e a química que se pratica na rotina dos laboratórios de pesquisa. Por exemplo, com a facilidade de aquisição de micro-pipetas e microburetas, cabe questionar a necessidade de se fazer um aluno passar 4 anos titulando da maneira tradicional (em macro-escala, com buretas de 50 mL), onde os volumes e consumo de reagentes são muito grandes. A implementação das técnicas de micro-escala tem sido tão bem sucedida, que o próprio Journal of Chemical Education dedica constantemente artigos voltados para este tema, os quais sempre trazem experimentos que podem ser facilmente implementados nas ementas de disciplinas experimentais. Na pesquisa, o mesmo princípio deve ser adotado, lembrando porém que a automação de métodos rotineiros e adaptações para FIA (Análise por Injeção em Fluxo) são exemplos que muito colaboram para a minimização, principalmente quanto ao consumo de reagentes.

A segregação dos resíduos em diferentes correntes tem como principal objetivo o de facilitar o seu tratamento e disposição final. Por exemplo, o Instituto de Química da UNICAMP, através de sua Comissão de Segurança, já vem desenvolvendo um trabalho consistente de controle do resíduo no qual são geradas cinco correntes, a saber: (a) clorados; (b) acetatos e aldeídos; (c) ésteres e éteres; (d) hidrocarbonetos e (e) álcoois e cetonas. Estes, após reciclo e reuso, são enviados para uma empresa para incineração. Via de regra, quem determina o número e a natureza das correntes de resíduos dentro de uma unidade geradora é o destinatário final destes resíduos, ou seja, quase sempre um incinerador. Assim, antes de se decidir pela segregação interna dos resíduos, é importante ter em mente qual será o seu destino final¹⁰⁻¹².

O reuso e o reciclo podem e devem ser exercitados e fomentados dentro da unidade geradora. Entende-se por reuso o uso do resíduo como insumo, sem que o mesmo sofra qualquer

pré-tratamento. Já o reciclo envolve o uso do material (ou do seu conteúdo energético) após algum tipo de tratamento. O reciclo já é bastante praticado nos laboratórios de química, principalmente naqueles onde o consumo de solventes voláteis é muito grande. É quase sempre realizado em escala pequena, descentralizado, e motivado historicamente por razões econômicas e não ambientais. O reuso, ainda muito pouco praticado, pode ser fomentado de várias maneiras¹³. Por exemplo, a recuperação de prata ou de outros metais nobres tem sido constantemente relatada no Journal of Chemical Education¹⁴, e poderia também ter um espaço similar em periódicos nacionais, e nada melhor para dar um fim naquele estoque de mistura sulfocrômica (cujo uso deve ser banido de qualquer laboratório) e também de fenóis e outros compostos orgânicos do que misturar ambos e, sob aquecimento e refluxo, praticar uma oxidação drástica. Livra-se desta maneira do cromo (VI) e de resíduos orgânicos ao mesmo tempo, num procedimento similar à Demanda Química de Oxigênio (DQO), parâmetro este muito usado na química ambiental para inferir qualidade de águas¹⁵.

Finalmente, tendo a unidade geradora estocado a quantidade mínima de resíduo fruto de suas atividades, a pergunta esperada é: Como tratar este resíduo? Qual a destinação final do mesmo? Infelizmente o interessado irá descobrir que o Brasil não tem uma política nacional de resíduo sólido, o que muito dificulta as ações nesta etapa do Plano de Gestão. Assim, prevalece o bom senso e a criatividade para a escolha da melhor opção nesta última parte dentro das atitudes hierárquicas propostas no Programa. Por isto, o tratamento de resíduos "in situ" deve ser magnificado para que apenas o mínimo seja enviado para fora da unidade geradora (destinação final). Cabe lembrar que o transporte de resíduos perigosos no Estado de São Paulo é fiscalizado pela CETESB, e exige muito burocracia, além dos custos que podem ser elevados.

O Laboratório de Química Ambiental vem praticando um programa de gerenciamento de seus resíduos baseado em experiências adotadas em outros países¹⁶, adaptadas porém para a nossa realidade. Além disso, desenvolveu uma série de procedimentos de baixo custo para tratar resíduos aquosos contaminados com compostos orgânicos potencialmente tóxicos¹⁷. Basicamente explora-se o uso de processos oxidativos avançados (H₂O₂, UV, Ozônio, Reagente de Fenton, fotocatalise heterogênea e algumas de suas combinações), com ou sem luz solar, com excelentes resultados, e que poderiam ser utilizados por outras fontes geradoras. Várias destas experiências já foram relatadas na literatura nacional^{18,19}.

CONCLUSÃO

A geração de resíduos químicos nos laboratórios de ensino e de pesquisa no Brasil precisa ser equacionada adequadamente para que haja uma minimização neste volume, além de propiciar seu correto descarte e destinação final. Se por um lado as normas que

regem o manuseio e a disposição de grande parte dos resíduos biológicos e radiativos são disponíveis (Vigilância Sanitária e CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear), para os demais resíduos químicos elas são inexistentes.

Neste cenário onde a omissão é o agente comum, cabe às universidades a iniciativa de desenvolver e implementar um programa de gestão de resíduos regional ou mesmo nacional, revertendo este quadro de tamanha incoerência dentro da vida acadêmica. Através da troca de experiências, da divulgação de resultados pontuais, e principalmente da criação de um espaço onde este tipo de informação possa ser gerenciado, centralizado e disseminado, a solução para a questão dos resíduos gerados em laboratórios de ensino e de pesquisa no Brasil com certeza passará a ser uma questão apenas de tempo.

REFERÊNCIAS

1. Schneider, J.; Wiskamp, V.; *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 587.
2. Ashbrook, P. C.; Reinhardt, P. A.; *Environ. Sci. Technol.* **1985**, *19*, 1150.
3. Sanders, H. J.; *Chem. Eng. News* **1986**, *64*, 21.
4. Quigley, M. N.; Vernon, F.; *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, 671.
5. Brouwer, H.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, 182.
6. Reiner, R. A.; Miyazak, A.; *J. Anal. At. Spectrom.* **1992**, *7*, 1239.
7. Schmedake, T. A.; Welch, L. E.; *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, 1045.
8. Anderson, G. E.; *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, A 173.
9. Brooks, D. W.; Epp, D.; Brooks, H. B.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, A 162.
10. Giglio, K. D.; Green, D. B.; Hutchinson, B.; *J. Chem. Educ.* **1995**, *72*, 352.
11. Jardim, W. F.; Nogueira, R. F. P.; *J. Chem. Educ.* **1993**, *70*, 861.
12. Lunn, G.; Sansone, E. B.; *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 972.
13. Reel, K.; *J. Chem. Educ.* **1993**, *70*, 854.
14. Murphy, J. A.; Ackerman, A. H.; Heeren, J. K. *J. Chem. Educ.* **1991**, *68*, 602.
15. APHA; AWWA; WPCP; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*. 18 Ed., Washington 1996.
16. *Waste Disposal in Academic Institutions*, Kaufman, J. A., Ed. Lewis Publishers 1990.
17. Jardim, W. F. *Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de Ensino e Pesquisa*, Livro em fase final de redação.
18. Alberici, R., Nogueira, R. F. P. e Jardim, W. F. *Ciência Hoje* (encarte Tecnologia) **1995**, *19*, 4.
19. Nogueira, R. F. P., Alberici, R., e Jardim, W. F. *Ciencia e Cultura* **1997**, *49*, 14.