- selecionar métodos mais adequados para a medida das variáveis independentes em face das situações atualmente existentes.

Para os cursos d'água, considerando-se que

$$F = c \times v$$

onde:

F = fluxo (massa por unidade de tempo)
c = concentração (massa por unidade de volume)
v = vazão (volume por unidade de tempo)

a variância de F seria dada pela seguinte fórmula:

$$\sigma^2 (F) = c_V^2 \sigma_V^2 + V^2 \sigma_C^2$$

- metodologias de monitoramento através de índices específicos devem ser criadas, utilizando-se de técnicas estatísticas, como por exemplo paineis de especialistas para a especificação de parâmetros e ponderações;
- a qualidade de dados novos deve ser rigorosamente controlada e a consistência dos mesmos deve ser analisada através de procedimentos estatísticos;
- a **análise de freqüências** deve ser utilizada como mais um instrumento para a interpretação dos dados obtidos da rede de monitoramento;
- as fontes que alimentam a rede de monitoramento (hidrologia, laboratórios, etc.) devem especificar, junto ao valor fornecido, sua precisão, mesmo em se tratando de estimativa subjetiva;
- critérios estatísticos devem ser utilizados no projeto de redes de monitoramento, tendo em vista a minimização do custo operacional e a maximização da representividade e confiabilidade dos resultados;
- os aspectos quantitativos e qualitativos são complementares e indispensáveis para a caracterização de um recurso hídrico, daí recomenda-se que esses aspectos sejam tratados simultaneamente em todas as atividades de um sistema de monitoramento de qualidade de águas;
- a necessidade de integração dos dados hidrológicos num sistema de monitoramento da qualidade de águas, é implícita, portanto recomenda-se que as entidades mantenedoras das redes de postos fluviométricos e/ou de monitoramento da qualidade de águas:
  - promovam a uniformização de procedimentos em âmbito nacional, no que se refere a obtenção, arquivamente e recuperação de dados;
  - criem canais permanentes de consulta e intercâmbio de informações;
- um **Grupo permanente de integração de informações hidrológicas e de qualidade de águas** deve ser criado com o objetivo de tornar possível a efetivação das proposições contidas nos itens anteriores e
- associações do tipo **Associação Brasileira de Recursos Hídricos** devem ser contatadas com o objetivo de abrigar o grupo mencionado na recomendação anterior.

a indústria farmacêutica como fonte produtora de resíduos sólidos

Glória Maria de Oliveria Sobral

Química da Gerência de Resíduos Sólidos Industriais

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo dos resíduos gerados na indústria farmacêutica, sua origem, caracterização, técnicas de tratamento e as formas mais comumente utilizadas para a sua destinação final.

Esta atividade industrial, de extrema importância em um país, pois está relacionada com a saúde de sua população, dedica-se à fabricação de ingredientes ativos a granel e de formulaçãoes específicas. para a realização de tal objetivo esta atividade congrega, também, serviços de pesquisas e desenvolvimento de novas drogas assim como de "marketing" e de distribuição de seus produtos.

Estas várias atividades, com diferentes graus de sofisticação, geram resíduos com as mais diversas características, podendo aparecer em sua composição desde materiais inertes até substâncias altamente agressivas ao meio ambiente.

O estudo foi baseado em levantamentos de indústrias farmacêuticas de médio e grande porte situadas na região da Grande São Paulo e em estudos semelhantes realizados nos Estados Unidos.

CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Para a realização deste estudo foi necessário, inicialmente, caracterizar a indústria farmacêutica de acordo com as atividades que desempenha.

A principal função da indústria farmacêutica é a produção e distribuição de substâncias terapeuticamente ativas em formas estáveis e com dosagens específicas como comprimidos, injetáveis, cápsulas, cremes e pomadas, xaropes, etc. Entretanto, de uma maneira geral, esta atividade industrial é constituida de quatro secções funcionais, a saber:

- Pesquisa e desenvolvimento – esta área tem a função de descobrir novas drogas e desenvolver e aprimorar as formulações destas novas substâncias e das já existentes.
- Produção de substâncias ativas – esta área produz substâncias ativas, a granel.
  Estes produtos podem ser:
  orgânicos: obtidos pela modificação química ou biológica de uma substância já existente ou pela síntese química completa de um complexo, como a vitamina A;
  inorgânicos: obtidos por precipitação (hidróxido de alumínio ou magnésio), ou simples mistura de diversas substâncias;
  de fermentação: obtidos por fermentação microbiana com posterior extração, precipitação ou absorção dependendo do antibiótico;
  de origem vegetal: obtidos por extração da substância ativa de folhas, cascas e raízes, com solventes apropriados e posterior purificação por cristalização, troca-iônica, precipitação ou cromatografia;
  de origem animal: obtidos a partir de glândulas animais com posterior purificação por precipitação, e
  biológicos: que incluem vacinas, anatoxinas, soros e frações do sangue humano.
- formulação e acondicionamento – nesta área as drogas básicas, que são produzidas a granel, são formuladas em formas e dosagens específicas como comprimidos, cápsulas, cremes e pomadas, xaropes, loções, soluções injetáveis, etc., que podem ser facilmente administradas a pacientes e em quantidades exatas.
  Os produtos formulados são embalados de maneira apropriada para o transporte e segurança do produto.
- "marketing" e distribuição – para que os produtos farmacêuticos cheguem aos médicos, hospitais, farmácias e finalmente até o paciente ou consumidor, eles são promovidos e distribuídos pelas próprias companhias farmacêuticas ou por grandes distribuidores.
  Os medicamentos são promovidos pela propaganda direta ou consumidor ou por aquelas específicas aos médicos, dentistas e veterinários.

As grandes companhias farmacêuticas normalmente congregam as quatro funções embora elas possam atuar em divisões separadas, muitas vezes localizadas em diferentes cidades ou estados. Outras companhias, entretanto, se especializam somente em uma destas fases, como na produção de substâncias ativas a granel ou na formulação de medicamentos.

No Brasil, a indústria farmacêutica é classificada pelo Instituto Brasileiro de Estatística – IBGE, do Ministério do Planejamento, como uma atividade industrial constituida basicamente de dois tipos de indústrias:

- indústria de produtos farmacêuticos não formulados (código 21.11) e a
- indústria de produtos farmecêuticos formulados (código 21.12).

A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA NO BRASIL E SUA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acrodo com as informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, contidas no Anuário Estatístico do Brasil de 1 974, existiam no Brasil, em 1 970, 522 indústrias farmacêuticas empregando 30.801 funcionários. Destes totais, 79,5% das indústrias estão localizadas na Região Sudeste alocando

93,65% da mão de obra. Deve-se ressaltar, ainda, a representatividade do Estado de São Paulo que em 1 970 empregava 18.694 funcionários (60,69% do total) em 207 instalações industriais (39,8% do total).

Para a avaliação da produção de resíduos sólidos, foram realizados levantamentos de indústrias farmacêuticas de produtos formulados e não formulados, de pequeno, médio e grande porte. A mão de obra empregada nas indústrias levantadas representa cerca de 13% da mão de obra empregada no país, nesta atividade industrial.

A partir dos resultados obtidos nos levantamentos e das informações contidas em estudos semelhantes realizados em outros países, correlacionou-se a produção de resíduos sólidos com o número de funcionários em cada indústria.

Os resultados obtidos se ajustaram a uma reta que passa pela origem, com um coeficiente de correlação de 0,989.

Este modelo foi usado na estimativa da produção dos resíduos sólidos gerados nas indústrias farmacêuticas do Estado de São Paulo e os resultados dos obtidos foram os seguintes:

- produção total de resíduos modelo $L = (2{,}08 \pm 0{,}17) \cdot N$ estimativa de produção (t/ano) $35650 \leq Lt \leq 42118$.
- produção de resíduos descartáveis (não reciclados) modelo $L = (1{,}49 \pm 0{,}24) \cdot N$ estimativa de produção (t/ano) $23461 \leq Ld \leq 32247$

Observação

L – produção de resíduos (t/ano)
N – número de funcionários
Lt – produção total de resíduos (t/ano)
Ld – produção de resíduos descartáveis (t/ano)
Grau de confiabilidade de 95%

Com objetivos de caracterizar melho o grupo das indústrias farmacêuticas de produtos formulados, que constitui a maioria das indústrias instaladas no país, adotou-se a mesma sistemática anterior.

Devido a uniformidade da amostra levantada, os resultados obtidos, descritos a seguir, poderão ser aplicados na estimativa da produção dos resíduos sólidos gerados em qualquer indústria de produtos farmacêuticos formulados localizados em diferentes regiões do país.

Indústrias de produtos formulados

- produção total de resíduos (t/ano)
  $L = (0.'2 \pm 0{,}33) \cdot N$
  Coeficiente de correlação 0,988
- Produção de resíduos descartáveis (t/ano)
  $L = (0.41 \pm 0.23) \cdot N$
  Coeficiente de Correlação 0,984

A seguir são apresentados os coeficientes médios de produção de resíduos sólidos na indústria farmacêutica, obtidos em diferentes estudos realizados:

COEFICIENTE MÉDIO DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

– t/ano – funcionários

Dados Obtidos no Levantamento	Ref. (1)	Ref. (2)
2,08	2,30	1,18

REFERÊNCIAS:

1 – Royal Institute of Puplic Administration, local Government Operational Research Unit, **Getting the Mesure of Industrial Waste**, Manchester, England 1 971.

2 – C.H. Rumary, P.B. Taylor; **Survey of Industrial Waste Arising in Staffordshire**, Solid Wastes, vol. LXVI, 2, p. 74-98, feb., 1976, England.

ORIGEM DOS RESÍDUOS

Para uma melhor visualização da problemática dos resíduos sólidos desta atividade industrial bem como das operações envolvidas na geração destes resíduos, decidiu-se utilizar como pontos de referência as unidades funcionais nas quais estão divididas as companhias farmacêuticas.

RESÍDUOS PROVENIENTES DAS INSTALAÇÕES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

As atividades de pesquisas e desenvolvimento de novos medicamentos estão situadas freqüentemente em centros de pesquisa controlados por indústrias de médio e grande porte. Assim os resíduos produzidos nestes centros são, via de regra, facilmente caracterizados qualitativa e quantitativamente.

Por outro lado, algumas atividades estão dispersar dentro das indústrias e os resíduos aí produzidos são descartados com os de outras áreas, o que impossibilita a sua caracterização isolada.

Dependendo do tipo de pesquisa que esteja sendo desenvolvida, os resíduos apresentam um elevado grau de diversidade podendo conter desde solventes orgânicos e outros produtos até animais mortos utilizados em laboratórios.

Nos E.U.A., estima-se uma produção de 66 l/homem – ano de resíduos contendo solventes.

Outros resíduos potencialmente nocivos como aqueles contendo metais pesados são muitas vezes estocados até uma quantidade suficiente para venda ou reprocessamento.

RESÍDUOS PROVENIENTES DE PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS ATIVAS

PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS

A produção de substâncias orgânicas, por modificação química ou por síntese, é pequena (1 a 2 t/ano), quando comparada com a produção de compostos químicos contendo metais pesados, que atinge a milhares de toneladas por ano. Estes produtos químicos contendo metais pesados, no entanto, são produzidos em processos contínuos gerando despejos uniformes, enquanto que a produção de muitos medicamentos é descontínua com grande variação dos resíduos gerados.

A quantidade de resíduo gerado por tonelada de produto final varia muito, dependendo do número de etapas de síntese, do rendimento de cada etapa e dos solventes utilizados.

Na maioria das sínteses orgânicas, o sub-produto, também orgânico, é separado do produto principal por extração, destilação, precipitação, cristalização ou filtração sendo recuperado como resíduo de fundo de destilação, lama química ou em uma solução com solvente. Este resíduo pode conter ainda substâncias orgânicas nocivas tais como hidroquinona, piridina ou ácido oxálico.

Os resíduos líquidos gerados contém muitos milhares de ppm de substâncias biodegradávesi como isopropanol, acetona, etanol ou ácido acético, passíveis de tratamento biológico.

O volume de resíduos contendo solventes depende do grau de contaminação do solvente utilizado, da porcentagem de recuperação, do tipo de reação envolvida e do próprio tipo de solvente.

Uma pequena quantidade de resíduos nocivos é gerada. Eles podem conter mercúrio, cromo, cobre, arsênico e zinco. Os resíduos contendo zinco são gerados na produção de zinco metálico, óxido de zinco e cloreto de zinco.

Os resíduos contendo arsênico são gerados na indústria farmacêutica como sub-produtos da fabricação de arseniacais e onde os compostos de arsênico são usados como catalizadores ou agentes oxidantes.

Um número pequeno de indústrias produz compostos mercuriais, entre eles o nitromersol e timerosal, e os resíduos produzidos são tratados cuidadosamente por um dos vários processos de remoção de mercúrio.

Estima-se nos E.U.A. que a produção anual de resíduos orgânicos contém 270 Kg de mercúrio elementar.

PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS

Nesta área da indústria farmacêutica, a maior parte dos ingredientes ativos inorgânicos na produção é comprada de indústrias químicas. Há, portanto, uma pequena produção de resíduos.

Os resíduos gerados na fabricação de anti-ácidos não contém metais ou sais tóxicos, e são normalmente resíduos líquidos contendo cloreto de sódio ou sulfeto de sódio. Ocasionalmente, a produção de um anti-ácido ou qualquer outro produto da área pode estar fora das especificações sendo então reprocessada ou disposta conforme as especificações das autoridades.

PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS POR FERMENTAÇÃO

Quando substâncias ativas, como antibióticos, são produzidas por fermentação, uma grande quantidade de resíduos é gerada. Os principais resíduos são: o micélio (microrganismos filtrados), o meio de cultura gasto e o solvente contaminado gerado no processo de extração.

O número de indústrias que desenvolve este processo é pequeno e a maioria das operações é realizada em larga escala, gerando, conseqüentemente, um grande volume de resíduos, o que representa um significativo problema para a indústria.

Esses resíduos, de características incomuns, têm um alto conteúdo de sólidos dissolvidos e em estado coloidal, uma grande variação de pH, uma alta demanda bioquímica de oxigênio cor, odor forte, etc.

PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DE ORIGEM VEGETAL

Os ingredientes ativos extraídos de vegetais-folhas, cascas e raízes podem ser divididos

em três tipos. Os alcalóides como a quinina e reserpina, esteróides para a síntese de cortisonas e anticoncepcionais orais e substâncias com propriedades laxativas como extratos da cáscara sagrada.

Produção de alcalóides – O processo de obtenção de um alcalóide a partir de produtos vegetais gera resíduos nas operações de extração e de purificação. Os resíduos são constituídos de matéria vegetal úmida, solventes halogenados e solventes não halogenados gastos. Os resíduos nocivos contendo solventes, gerados na extração inicial, contêm álcool, água e extratos vegetais dissolvidos (resinas, gorduras, etc.).

A segundo etapa do processamento é uma extração do alcalóide do solvente aquoso com um solvente imiscível com a água.

Como a maior parte das impurezas (matéria orgânica hidrossolúvel) fica retida no solvente aquoso, o volume de resíduo contendo o solvente imiscível (ex. solvente clorado) é muito pequeno.

As etapas finais de purificação, como cristalização e precipitação, geram pequenas quantidades de resíduos contendo solventes.

Produção de esteróides – A partir da determinação da estrutura química de vários hormônios e do desenvolvimento dos métodos de síntese destes hormônios, tornou-se possível a produção comercial, em larga escala, destas substâncias a partir de vegetais.

Por exemplo, os esteróides stigmasterol e diosgenina, obtidos a partir da soja e de um tubérculo mexicano, respectivamente, são usados na produção comercial da cortisona e de alguns anticoncepcionais orais.

Ao contrário da maioria dos processos de extração vegetal, a produção do esteróide bruto, stigmasterol, não gera resíduos líquidos nocivos e sim blocos de resíduos constituídos por vegetais. Todo o solvente usado é recuperado.

PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS A PARTIR DE GLÂNDULAS DE ANIMAIS

Os principais medicamentos obtidos a partir de glândulas animais são: a insulina, do pâncreas de bovinos e suínos e a heparina de tecidos animais.

Os processos de extração são semelhantes e, de uma maneira geral, os resíduos gerados nas diversas operações são os seguintes: órgãos e tecidos animais, gorduras e óleos, torta de filtração contendo proteína precipitada, resíduos contendo solventes e outros resíduos mais específicos como aqueles contendo zinco gerados na preparação do complexo insulina-zinco.

Produtos biológicos

Os produtos biológicos são representados pelas vacinas, soros, anatoxinas e frações do sangue humano.

Os resíduos provenientes das diversas operações podem ser resumidos da seguinte maneira: resíduos contendo solventes, sais inorgânicos e proteínas; resíduos constituídos na sua maior parte de material de filtração; e resíduos semi-sólidos constituídos principalmente de matéria orgânica insolúvel.

RESÍDUOS PROVENIENTES DA FORMULAÇÃO DE MEDICAMENTOS

Os processos de formulação e a posterior operação de embalagem geram resíduos constituídos basicamente de medicamentos rejeitados, fora das especificações de fábrica, medicamentos com prazo de validade vencido, vidros quebrados durante o processo de acondicionamento do produto, embalagens de papel e papelão não utilizadas e aparas de alumínio.

A quantidade de material rejeitado na formulação é pequena devido ao elevado custo das matérias primas. Os lotes destes produtos, não aprovados pelo controle de qualidade, são então reformulados para atender as especificações.

Quando isto não é possível, os lotes são inativados quimicamente ou então são enviados a incineradores onde são destruídos.

Nos setores de embalagem e distribuição, são gerados os resíduos de limpeza e varrição. Estes resíduos são constituídos de vidro, papel, madeira, borracha, alumínio, etc. Somente uma pequena parcela destes resíduos é representada por ingredientes ativos (cerca de 1%).

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA QUANDO A SUA AGRESSIVIDADE AO MEIO AMBIENTE

A indústria farmacêutica, como um todo, gera anualmente uma grande quantidade de resíduos, os mais diversos, sob a forma sólida, semi-sólida e líquida.

Deste montante, destacam-se os resíduos da produção de antibióticos por fermentação, pelo seu grande volume e características especiais. O resíduo denominado micélio, constituído de microrganismos filtrados e auxiliares de filtração (p.ex. terra diatomácea), não é considerado nocivo. No entanto, devido a sua grande produção e a tendência de emitir odores desagradáveis durante sua decomposição, este resíduo pode trazer problemas para a indústria, se manuseado inadequadamente. Outro resíduo de fermentação, que deve ser considerado devido suas características peculiares, é o meio de cultura gasto. Quando lançado em corpos d'água, sem tratamento prévio, este resíduo com alto teor de matéria orgânica biodegradável representa sempre um uma demanda potencial de oxigênio.

A redução dos teores de oxigênio dissolvido do meio aquático poderá atingir níveis incompatíveis com a sobrevivência dos organismos, podendo, através da eliminação de determinadas espécies, destruir importantes elos da cadeia alimentar.

Os resíduos nocivos contendo solventes, halogenados ou não, gerados em diversos processamentos desta atividade industrial, devem ser cuidadosamente manipulados e tratados. A sua periculosidade está relacionada com a inflamabilidade e os efeitos tóxicos aos seres vivos quando na forma gasosa.

A Tabela 1 apresenta os solventes mais utilizados na indústria farmacêutica e as concentrações máximas recomendadas quando estes solventes estão presentes no ar.

TABELA 1
PERICULOSIDADE DOS SOLVENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Periculosidade	Solvente	TLV* (ppm)
Alta	Acetona	1.000
	Acetonitrila	40
	Acetato de amila	100
	Acetato de butila	150
	Benzeno	10
	Butanol	100
	Clorofórmio	25
	Dicloro-etileno	50
	Etanol	1.000
	Isopropanol	400
	Metanol	200
	Metil-isobutil-cetona	100
	Tolueno	100
	xileno	100
Moderada	Etilenoglicol monometil eter	25
	Heptano	500
	Cloreto de metileno	500
	Nafta	200

* TLV – Concentração máxima a qual seres vivos podem ficar expostos repetida e continuadamente, dia após dia, sem sofrerem efeitos adversos.

Fonte: N. Irving-Sax, Dangerous Properties of Industrial Materials. 4th Edition, Van Nostrand Reinhold Company.

A produção de compostos orgânicos representa a maior fonte de resíduos nocivos, muito embora o volume gerado seja pequeno. A periculosidade destes resíduos é representada pela presença de metais pesados como o mercúrio, cromo e cobre, de arsênico além de compostos orgânicos tóxicos (p.ex. hidroguinona, piridina).

O mercúrio é um elemento tóxico ao homem e outros seres vivos, principalmente quando sob a forma orgânica. O mercúrio é um veneno protoplasmático geral e quando absorvido pelo organismo, é depositado no fígado, rins, baço e nos ossos, causando graves danos a estes órgãos. A presença de mercúrio no meio aquático pode afetar significativamente os organismos que aí vivem. Os efeitos toxicológicos podem ser evidenciados pela morte de larvas de moluscos bivalvos e fitoplancton marinho, distúrbios no desenvolvimento de ovas de peixe, inibição da fotossíntese e alteração do epitélio e tecidos branquiais de peixes.

O cromo é essencial aos animais superiores e está relacionado com a ação da insulina. Porém, é carcinogênico a ratos e comundongos testados e a exposição a este elemento resulta em dermatite, úlceras de pele, danos no fígado e câncer pulmonar.

O cobre é necessário para as enzimas oxidativas e hemocianina, no entanto, um dose excessiva causa danos no fígado, rins, capilares e sistema nervoso central.

Compostos contendo arsênico são altamente tóxicos. O envenenamento por arsênico tem a característica de apresentar uma grande variedade de sintomas.

Tanto o envenenamento agudo como o crônico podem ocorrer por inalação ou ingestão. Quando aquecidos até decomposição, em contato com ácidos ou quando soluções aquosas de arseniacais, entram em contato com metais ativos como Fe, Al e Zn, estes compostos emitem fumos altamente tóxicos de arsênico.

Estes resíduos devem, portanto, ser tratados convenientemente para a remoção destes elementos. Quando isso não fôr possível devem ser dispostos de maneira a não causar danos ambientais.

Os resíduos constituídos de medicamentos fora de especificação ou com prazo de validade vencido devem ser inativados ou destruídos devido a sua potencial periculosidade quando ingeridos ou inalados acidentalmente.

FORMAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO E/OU DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

De maneira geral, os processos de tratamento de resíduos devem reduzir seu volume, separar seus componentes, destoxificá-los e recuperar frações, tanto quanto possível, para posterior reuso. Nenhum processo, por si só, pode realizar todas estas funções.

A Tabela 2 apresenta as técnicas comumente utilizadas para o tratamento de resíduos gerados na indústria farmacêutica.

Oxidação por via úmida

A oxidação por via úmida é o processo de oxidação de substâncias orgânicas no estado líquido sob altas pressões e a temperaturas moderadas. Os produtos de degradação contendo enxôfre, nitrogênio e halogênio são retidos no líquido efluente. Esta técnica é freqüentemente encontrada na indústria farmacêutica e é usada quando a energia total contida no resíduo é muito baixa para incinerá-lo.

Na oxidação em meio líquido, uma complexa mistura de substâncias orgânicas pode ser degradada a componentes mais simples, os quais são facilmente manipulados em um tratamentos posterior bem estabelecido, como o tratamento bioquímico.

TABELA 2

FORMAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO E/OU DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Processo	Função*	Tipo de Resíduo**	Possibilidade de Recuperação
Tratamento Físico:			
absorção	Se	1, 3, 4	Sim
diálise	Se	1, 2, 3, 4	Sim
eletrodiálise	Se	1, 2. 3, 4, 6	Sim
evaporação	Se	1, 2	Sim
filtração	Se	1, 2, 3, 4	Sim
floculação/clarificação	Se	1, 2, 3, 4	Sim
osmose reversa	Se	1, 2, 4, 6	Sim
tratamento com amônia	Se	1, 2, 3, 4	Sim
Tratamento Químico:			
calcinação		1, 2	Sim
troca-iônica	Se, Des	1, 2, 3, 4	Sim
neutralização	Des	1, 2, 3, 4	Sim
oxidação	Des	1, 2, 3, 4	Sim
precipitação	Se	1, 2, 3, 4	Sim
redução	Des	1, 2	Sim
Tratamento Térmico:			
pirólise	RV	3, 4, 6	Sim
incineração	Des, Dis	3, 6, 7, 8	Sim
Tratamento Biológico:			
lodo ativado	Des	3	Não
lagoa aerada	Des	3	Não
lagoa de estabilização	Des	3	Não
filtro biológico	Des	3	Não
Disposição/Estocagem:			
injeção em poços profundos	Dis	1, 2, 3, 4, 6, 7	Não
aterro	Dis	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8	Não
estocagem controlada	Esto	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8	Sim

Referências:

(*) Se – segregação
Des – destoxificação
RV – redução de volume
Dis – disposição
Esto – estocagem

(**) 1 – Res. inorgânicos sem metais pesados
2 – Res. inorgânicos com metais pesados
3 – Res. orgânicos sem metais pesados
4 – Res. orgânicos com metais pesados
5 – Res. radiológicos
6 – Resíduos biológicos
7 – Resíduos inflamáveis
8 – Resíduos explosivos

Obs.: A disposição de resíduos radiológicos não é discutida neste estudo.

Fonte: Colonna, R.A. and Mclaren, C. "Appendix D. Hazardous Wastes", Decision – Makers Guide in Solid Waste Management, Environmental Protection Agency, 1974, p. 146.

Este método é normalmente aplicado a resíduos líquidos e semi-sólidos. Os resíduos sólidos gerados no processo são muito mais estáveis e menos nocivos ao meio ambiente do que os sólidos presentes no resíduo original.

O processo de oxidação pode vir a ser uma alternativa viável de tratamento daqueles resíduos que têm ação inibitório sobre sistemas bioquímicos, desde que a composição específica do resíduo seja bem conhecida.

INCINERAÇÃO

INCINERAÇÃO DE SOLVENTES HALOGENADOS E NÃO HALOGENADOS

Quando solventes de alta energia e pequenas quantidades de água e material sólido persistem através dos processos de recuperação, eles podem ser destruídos por oxidação térmica e altas temperaturas em incineradores próprios para a injeção de líquidos.

Estas unidades operam, normalmente, a temperaturas mínimas de 1.000°C e com turbulência e tempo de retenção suficientes para a destruição dos solventes. Se a combustão for controlada, por exemplo com excesso de ar, não é necessário nenhum sistema de controle de poluição do ar (resíduos contendo solventes não-halogenados). No caso de resíduos contendo solventes halogenados, há necessidade de se instalar equipamentos de prevenção da poluição do ar devido a formação de gases nocivos como ácido clorídrico, óxidos de enxôfre e óxidos de nitrogênio.

O equipamento mais comumente usado é o lavador de gases (venturi) e a neutralização do líquido de lavagem é feita com carbonato de cálcio, hidróxido de sódio ou amônia. Estes líquidos obtidos são normalmente enviados aos sistemas de tratamento de águas residuárias. Quando operados devidamente, os incineradores de injeção de líquidos demonstram uma alta eficiência na destruição dos resíduos.

No caso de resíduos com baixo poder calorífico, há necessidade de se queimar combustível auxiliar, onerando assim os custos de disposição.

INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A oxidação completa e controlada dos resíduos a altas temperaturas, no ar ou oxigênio com adequada lavagem dos gases e facilidades quanto a disposição das cinzas, constitui método adequado de tratamento e recomendado, desde que economicamente viável.

Para melhor eficiência do processo, recomenda-se a combustão em duas etapas, de forma a garantir a queima completa dos resíduos. A temperatura mínima na primeira deverá ser 800°C (combustão primária) e na segunda etapa a temperatura deverá ser maior com um tempo também maior de permanência do resíduo na câmara de combustão.

A lavagem dos gases se faz necessária no sentido de se evitar a emissão de gases e fumos tóxicos.

A incineração, devidamente operada e complementada pela disposição adequada das cinzas, é considerada atualmente como a melhor técnica de tratamento dos resíduos sólidos gerados na indústria farmacêutica.

TRATAMENTO BIOLÓGICO (LODOS ATIVADOS)

Os efluentes orgânicos da indústria farmacêutica, isentos de metais pesados, podem ser tratados biologicamente pelo sistema de lodos ativados ou por qualquer outro processo biológico.

O tratamento de determinados tipos de resíduos da indústria farmacêutica, pelo processo de lodos ativados, muito embora associado a inúmeros problemas operacionais, poderá constituir solução viável, principalmente no caso de grandes indústrias.

O processamento envolve inicialmente uma cloração com posterior neutralização e ajuste de pH. O sistema, entretanto, é susceptível a choques químicos ou sobrecarga e, portanto, o afluente deve ser cuidadosamente monitorado. Em alguns casos, pode haver necessidade de utilizar tanques de equalização.

Em termos de reduzção de carga orgânica afluente este processo apresenta uma eficiência de 95%.

ATERROS SANITÁRIOS E QUÍMICOS

O lançamento dos resíduos biodegradáveis e inertes em aterros sanitários é uma forma adequada de disposição final. Todavia, é necessário um profundo conhecimento da área do aterro sob o ponto de vista geológico e hidrológico das águas subeterrâneas.

Esta forma de disposição esta condicionada a uma aprovação prévia dos organismos de controle de poluição ambiental.

Os aterros químicos seguros constituem importante forma de disposição, por longos períodos de tempo, de determinados resíduos farmacêuticos. Estes aterros devem ser localizados de forma a se tirar vantagens de fatores geológicos que muitas vezes permitem uma atenuação dos efeitos nocivos dos resíduos ou dos produtos de decomposição ao ambiente, e devem ser projetados no sentido de serem superados as desvantagens trazidas por locais não favoráveis.

Os fatores a serem considerados na localização de um aterro sanitário químico incluem: as características dos resíduos, a topografia e geologia do local (tipo de rocha, estrutura geológica, características metereológicas), hidrologia, condições climáticas e composição do solo. No projeto deverão ser considerados: a preparação dos resíduos, eventual utilização de forros impermeáveis, sistemas receptores de líquido percolado e equipamento de amostragem.

POÇOS PROFUNDOS

A injeção de resíduos líquidos em poços profundos, muito embora envolva investimentos extremamente elevados, poderá vir a constituir a única alternativa viável para a disposição final, particularmente para as grandes indústrias farmacêuticas geradoras de grandes volumes destes resíduos.

Em face dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas, a "environmental Protection Agency" (EPA) dos Estados Unidos somente permite esta forma de disposição quando todas as outras alternativas se mostrarem menos satisfatórias.

A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

As indústrias farmacêuticas, utilizando em inúmeros processamentos matérias-primas de elevado custo, procuram, tanto quanto possível, reciclar estas substâncias assim como determinados produtos acabados.

Carca de 95% do volume de solventes gastos nos processos de extração e purificação de ingredientes ativos são recuperados para posterior reutilização.

Os resíduos gerados nos processos de fermentação e de extração de substâncias ativas de origem animal são muitas vezes vendidos como fonte de proteínas para ração animal. As gorduras contidas nos resíduos são recuperadas e vendidas a fabricantes de sabão.

Os resíduos provenientes da formulação, a condicionamento e distribuição são, na sua maioria, reciclados. O papelão e restos de embalagens metálicas, não identificados como pertencentes à indústria, são vendidos a sucateiros. Os vidros quebrados ou imperfeitos são enviados à indústria fornecedora de embalagens de vidro ou então vendidos. Determinados lotes de medicamentos, não aprovados pelo controle de qualidade, retornam, quando possível, ao processo a fim de serem reformulados. As cápsulas gelatinosas, com defeitos ou amassadas, são redissolvidas e retornam ao processo de moldagem.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1 – BOOZ ALLEN APPLIED RESEARCH IND., *A Study of Hazardous Waste Materials, Hazardous Effects and Disposal Methods.* Vol. 2, 1 973, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

2 – COLOVOS, G.C. and TINKLENBERG, N.; *Land Disposal of Pharmaceutical Manufaturing Wastes.* Biotechnology and Bioengineering, vol. IV, p. 153-160, 1962.

3 – ECKENFELDER, W.W. Jr. and Barnhart, E.L.; *Biological Treatment of Pharmaceutical Wastes,* Biotechnology and Bioengineering, vol. IV, p. 171-180, 1962.

4 – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Pharmaceutical Industry, Hazardous Waste Generation, Treatment and Disposal.* SW-508, U.S. EPA, 1976.

5 – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, *Anuário Estatístico do Brasil, 1974.*

6 – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, *Boletim Estatístico,* ano XXXIII, nº 129, jan/mar., 1975.

7 – HOWE, R.H.; *Complete Biological Treatment of Antibiotic Production Wastes,* Biotechnology and Bioengineering, vol. IV, p. 161-170, 1962.

8 – OTTINGER, R.S. et alü, *Recommended Methods of Reduction, Neutralization, Recovery, or Disposal of Hazardous Waste.* Volume VI *Mercury, Arsenic, Chromium and Cadmium Compounds.* U.S. Environmental Protection Agency, 1973.

9 – PRESCOTT, S.C. and DUNN, G.C.; *Industrial Microbiology,* 3rd. Edition, MacGraw-Hill, 1959.

10 – ROYAL INSTITUTE OF PUBLIC ADMINISTRATION, LOCAL GOVERNMENT OPERATIONAL RESEARCH UNIT, *Getting the Mesure of Industrial Waste,* Manchester, England, 1971.

11 – RUMARY, C.H. and TAYLOR, P.B.; *Survey of Industrial Waste Arising in Staffordshire,* Solid Wastes, vol. LXVI, 2, feb., 1976, England.