



III-027 – AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS NA IMPLANTAÇÃO DE PROCESSOS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Carlos Eduardo Mattioli⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Mogi das Cruzes – UMC, 1989. Especializado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Estadual Paulista UNESP, 1996. Aluno regular do Programa de Mestrado em Engenharia Industrial da Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2002. Empresário e consultor na área de engenharia de segurança do trabalho e meio ambiente.

Celso Luiz da Silva

Professor adjunto do Depto. de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru-SP; graduado em Física, Mestrado e Doutorado em Engenharia Térmica pela Poli-USP, Pós Doutorado em Barcelona-ES, Livre-Docência pela UNESP – Campus de Bauru/SP; professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial na área de Manejo de Resíduos. Pesquisador do CNPq e FAPESP.

Endereço⁽¹⁾: Residente à Rua General Marcondes Salgado, 17-71 Bloco 4 Apto 21, Cep 17013-231, Vila Cárdia, Bauru, São Paulo, Telefone: (0xx14) 234-8392, Fax: (0xx14) 232-4626, Celular: (0xx14) 9772-8384, e-mail: carlos@mattioli.eng.br

RESUMO

A presente avaliação aborda a questão dos resíduos sólidos gerados nos estabelecimentos de serviços de saúde e analisa os parâmetros necessários que possibilitam a escolha e a seleção de formas de tratamento, atualmente disponíveis no mercado mundial, através da comparação das vantagens e desvantagens de cada sistema. Contudo, o estudo relaciona as características dos resíduos de serviços de saúde e as informações técnicas e econômicas acerca das tecnologias referenciadas. A ênfase dada ao assunto decorre da necessidade de eliminarem-se os agentes patogênicos e materiais infectantes contidos nos resíduos sólidos de serviços de saúde que, muitas vezes, contaminam o meio ambiente e prejudicam a saúde da população, tanto pela ineficácia dos processos de tratamento e falta de controle dos efluentes gerados, como pelo desconhecimento e despreparo dos responsáveis no gerenciamento do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde, Tratamento de Resíduos, Resíduos Hospitalares, Incineração de Resíduos Sépticos.

INTRODUÇÃO

Em razão do progressivo aumento de resíduos gerados pelo rápido crescimento da população, torna-se cada vez maior a preocupação com a contaminação do meio ambiente. Neste contexto, a questão da destinação dos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSSS) surge como um grande problema, na medida em que se exige a eliminação dos agentes patogênicos ou dos produtos químicos neles contidos. A problemática está em torno da forma de destinação destes resíduos.

As tecnologias disponíveis no mercado mundial, bem como as pesquisas desenvolvidas por empresas e universidades, têm demonstrado a crescente preocupação com o controle dos agentes biológicos presentes nos resíduos sólidos de serviços de saúde e provenientes de materiais infectantes, os quais necessitam ser eliminados.

À luz deste risco patogênico, e tendo claro que tais elementos são prejudiciais à saúde, tem-se estudado sua eliminação através de equipamentos que operam com baixas e altas temperaturas, ponto crucial para a destruição das bactérias em potencial.

O objetivo deste estudo é disponibilizar aos organismos governamentais, um acervo técnico-econômico, contendo processos de tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde, visando a preservação do meio



ambiente e constituindo subsídios para uma visão clara e objetiva, de sistemas de baixo custo, mas que sejam eficientes e tecnicamente satisfatórios.

A proposta inclui, também, a caracterização dos elementos componentes do resíduo, a avaliação do custo *versus* benefício na implantação destes processos, a análise das vantagens e desvantagens dessas tecnologias, a adequação de metodologia direcionada para escolha e seleção de equipamentos para tratamento de efluentes e, por último, a análise da viabilidade de recuperação energética.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para atingir os objetivos propostos, baseou-se no levantamento de dados através de estudo da literatura, na revisão das tecnologias disponíveis para tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de serviços de saúde e na elaboração de um método de análise das informações obtidas, com vistas a proposta de seleção e escolha do tipo adequado.

A fase de levantamento de dados incluiu as informações contidas na literatura sobre a caracterização, composição e regulamentação dos resíduos sólidos de serviços de saúde, a partir de sua fonte geradora. Foi considerado, como referência, o Município de Bauru – Estado de São Paulo – para coletar aspectos quantitativos e qualitativos, bem como formas de manipulação do resíduo, sob o conceito de segurança dos agentes biológicos.

Na revisão dos diversos tipos de tecnologia de tratamento de resíduos, bem como de técnicas de disposição final do resíduo, foram analisadas as tecnologias, atualmente, disponibilizadas no mercado. Desta forma, foi possível visualizar vantagens e desvantagens existentes entre cada uma delas, para a obtenção de informações técnicas e econômicas, necessárias para a implantação do processo de tratamento adequado.

DELINEAMENTO DO PROBLEMA

O gerenciamento inadequado dos resíduos gerados nos serviços de saúde pode ter impacto direto na comunidade, nas pessoas que trabalham nos serviços de saúde e no meio ambiente. Além disso, o meio ambiente, contaminado por inadequado tratamento deste tipo de resíduo, pode ocasionar efeitos nocivos indiretos à saúde da comunidade.

Os resíduos sólidos de serviços de saúde compreendem os resíduos hospitalares, resíduos infectados, resíduos de riscos biológicos e, também incluem as culturas descartadas, grupos patogênicos e espécimes clínicas que podem conter patogênicos humanos, além de animais natural ou experimentalmente infectados com agentes etiológicos e que requeiram bio-segurança. Devem ser processados como RSSS desde o mais simples dos agentes etiológicos de doenças infecciosas, incluindo todos os espécimes, culturas, grupos e animais infectados, assim como itens contaminados com estes microorganismos.

A caracterização dos RSSS, segundo REGO e NODA (1993), é feita em dois grupos: sépticos e não sépticos. Os resíduos sépticos são todos aqueles provenientes de áreas consideradas potencialmente geradoras de resíduos portadores de agentes patogênicos, tais como: salas de cirurgias, enfermarias, salas de curativos, banco de sangue, laboratórios, etc. Os resíduos não sépticos, por sua vez, são aqueles provenientes de áreas com pequeno potencial ou probabilidade de ocorrência de contaminação, tais como: resíduos de escritório, restos de cozinha, resíduos de varrição, restos de construção, embalagens em geral, enfim, todas as atividades consideradas de apoio administrativo ao estabelecimento de saúde. As características físico-químicas dos RSSS, como umidade, teor de carbono, teor de hidrogênio, teor de enxofre, sólidos voláteis, cloro e cloretos estão relacionadas com o poder calorífico, quantidade de matéria orgânica, porcentagem de peso, quantidade de ácidos dos resíduos, influenciando diretamente na eficiência de sistemas de tratamento.

O risco para a comunidade inclui a exposição intencional e não intencional, na falta de um gerenciamento seguro de resíduos. A exposição intencional ocorre através da larga reutilização de material descartável (especialmente seringas) nos países em desenvolvimento e resulta na maioria das doenças causadas pela inadequação do gerenciamento destes resíduos. Principais doenças merecem consideração pela possível



transmissão de vírus como HBV, HCV e HIV. O dano não intencional pode ocorrer quando a comunidade está exposta a inadequado gerenciamento do resíduo, por exemplo, através da escavação em locais de depósito de lixo ou valas sépticas sem estruturação.

Os riscos que podem ser causados aos trabalhadores e pessoas que convivem no meio hospitalar estão sendo, correntemente, investigados. Se medidas adequadas são tomadas, os riscos para este segmento da população tendem a ser baixos.

Atualmente, é importante ressaltar, que nenhuma opção de baixo custo, biodegradável e segura para os resíduos sólidos de serviços de saúde, está disponível. Opções de baixo custo são, freqüentemente, causadoras de contaminação e, portanto, indireta e potencialmente prejudiciais à saúde humana. A ausência total de gerenciamento, no entanto, também coloca a saúde humana em risco. Significativos progressos têm sido atingidos através de opções adequadas de gerenciamento, tais como políticas de compra, isolamento e tratamento apropriado do resíduo.

ANÁLISE DAS CAUSAS

Existem razões que levam à imprópria exposição a resíduos sólidos de serviços de saúde. Algumas das maiores causas podem ser, assim, elencadas:

- falta de consciência sobre os efeitos causados pelo gerenciamento impróprio dos RSSS;
- insuficiente alocação de recursos (financeiro e humano) para um tratamento seguro de resíduos;
- impróprio controle do sistema de gerenciamento do resíduo;
- ausência de uma política nacional para o tratamento de RSSS;
- falta ou insuficiência de uma estrutura regulamentar;
- insuficiente comprovação do impacto negativo dos resíduos de serviços de saúde em certos grupos profissionais;
- insuficiente informação no tratamento de resíduos e opções de tratamento, bem como seus benefícios.

Acrescente-se que, a falta de vontade política em desenvolver e implementar um sistema apropriado de tratamento, tem um papel importante no tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde.

É evidente que outras causas podem ser acrescentadas, considerando-se uma área geográfica definida.

MEDIDAS PARA MELHORAR O SISTEMA

Progressos no tratamento de resíduos sólidos dos serviços de saúde, podem ser alcançados se os seguintes elementos forem observados:

- construção de um sistema de fácil compreensão, indicando responsabilidade, alocação de recursos, entrega e disposição¹;
- conscientização e treinamento sobre os riscos relacionados à exposição ao resíduo decorrente dos serviços de saúde, incluindo segurança;
- seleção de opções de tratamento seguras e biodegradáveis, a fim de proteger as pessoas do perigo quando coletando, entregando, armazenando, transportando, lidando ou descartando resíduos.

Para se atingir este progresso, a longo prazo, é necessário o comprometimento do governo, além do seu patrocínio, através de ações políticas imediatas e locais. Afinal, o tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde é parte do sistema de saúde, e a criação de danos, através da inadequação de tratamento dos resíduos, reduz os benefícios do sistema de saúde.

¹ Este é um processo de longo prazo, que demanda incremento gradual.



RESPONSABILIDADES

Considerando que o tratamento dos resíduos de serviços de saúde é parte integrante do sistema de saúde, fica claro que os responsáveis por sua implantação são todos aqueles que, direta ou indiretamente, administram o problema. Podem ser incluídos os administradores hospitalares, políticos, profissionais de saúde pública e coletiva, administradores envolvidos no tratamento dos resíduos².

RESULTADOS OBTIDOS

Uma grande variedade de tecnologias tem sido desenvolvida para o armazenamento, estocagem, tratamento e disposição dos RSSS. Diferentes tipos de tratamento e processos de disposição têm sido aplicados (incineração, microondas, autoclavagem, pirólise, tratamento químico, irradiação, etc), com vários graus de segurança, custos e impacto no meio ambiente. Nenhum sistema de tratamento de baixo-custo (e.g. abaixo de US\$ 500), hoje disponíveis, são, no entanto, seguros e biodegradáveis. Nos países em desenvolvimento, quando da ausência de gerenciamento de resíduos, pode ocorrer risco direto à saúde através da reutilização de seringas e risco indireto gerado pela contaminação do meio ambiente (e.g. pela produção de dióxidos decorrentes da inadequada incineração).

Em muitos casos, estas tecnologias, simultaneamente, tratam, destroem e reduzem o volume dos resíduos sólidos de serviços de saúde, através do uso de pré e pós-tratamento ou pelo uso de temperaturas extremamente altas (acima de 2800°C), reduzindo o resíduo a cinzas. Todos os sistemas que tratam dos resíduos de serviços de saúde usam um, ou mais, dos seguintes métodos: aquecimento do resíduo para um mínimo de 95°C por meio de microondas, ondas de rádio, óleo quente, água quente, vapor ou gases superaquecidos; exposição do resíduo à substância química como hipoclorito de sódio ou dióxido de cloro; tratamento do resíduo com substância química aquecida; exposição do resíduo à fonte de irradiação.

Para realizar a seleção e a escolha do sistema adequado de tratamento dos resíduos sólidos dos serviços de saúde, é necessário que se conheça a composição, a caracterização e o volume do resíduo que se deseja tratar; o custo operacional inicial e contínuo; a manutenção periódica; a assistência técnica do fabricante dos equipamentos; o espaço físico disponível; a eficiência que se pretende obter; o tipo e a forma de tratamento de efluentes gerados e as fontes de energia disponíveis para operação destas tecnologias.

É interessante ressaltar que as pessoas envolvidas neste processo tenham um bom nível de capacitação e treinamento, já que serão elas as responsáveis por disponibilizar os parâmetros preliminares para a aquisição e implantação do sistema.

O estudo demonstra, ainda, ser importante que o resíduo esteja em condições apropriadas para possibilitar um tratamento eficiente. Tais condições implicam a fragmentação, o retalhamento e a moagem dos resíduos (a exemplo do processo de microondas), a fim de possibilitar a redução do volume. Há sistemas, contudo, que operam com capacidades entre 1 e 1500 kilogramas de resíduos por hora. Entretanto, alguns sistemas requerem um mínimo de capacidade de carga, isto é, um mínimo de volume de resíduo para que o sistema possa operar efetivamente. Na seleção do sistema de tratamento, a tecnologia deve ser adequada ao volume de resíduo a ser tratado.

A geração de subprodutos advém do tipo de tratamento de resíduo escolhido. Além dos efluentes gasosos, podem ser encontrados, como subprodutos, a escória, as cinzas, os componentes vitrificados, sendo certo que todos podem ser destinados à reciclagem ou reutilização em diversos segmentos - desde que se esteja certo de sua descontaminação - bem como podem promover a recuperação e a geração de energia.

² Segundo o documento intitulado *Aide-Memoire for a national strategy for health-care waste management*, publicado pelo Departamento de Proteção do Meio Ambiente, da Organização Mundial da Saúde, “é responsabilidade dos governos criar uma estrutura para o tratamento dos resíduos de serviços de saúde e assegurar que os administradores de instalações de saúde tenham sua parcela de responsabilidade no tratamento deste tipo de resíduo de forma segura”.



Fator importante nesta avaliação, diz respeito à segurança do trabalhador que opera o equipamento. Isto implica fornecer medidas de neutralização e atenuação dos agentes físicos e biológicos, capazes de promover contaminação através dos resíduos que circulam nos mecanismos do sistema e que possam vir a causar sérios danos à saúde. Por exemplo, deve-se ter em conta que pode ocorrer a transmissão cutânea e a inalação de gases, expelidos durante o processo de coleta, segregação, manipulação e na carga de equipamentos.

PROCESSO DE INCINERAÇÃO

O processo da incineração contribuiu, significativamente, para o desenvolvimento de tecnologias alternativas de tratamento. Até o momento, tem sido o sistema mais promissor. Embora de alto custo, também pode ser uma ameaça ao meio ambiente, em face dos gases que são liberados, se não controlados com acuidade. Este processo elimina de maneira satisfatória os resíduos contaminantes e infectantes dos serviços de saúde. Entretanto, pode liberar gases nocivos à saúde e seu alto custo inicial torna-o inacessível para a maioria dos municípios. Um estudo divulgado em setembro de 1994 pela agência do governo dos EUA, responsável pela proteção ao meio-ambiente, afirma que incineradores de lixo produzem gases que podem causar câncer. O estudo diz que existem "evidências fortíssimas" de que as dioxinas causam problemas no aparelho imunológico (as dioxinas são substâncias tóxicas produzidas principalmente pela queima de produtos que contêm cloro, como o plástico e o papel). Os gases oriundos deste processo devem ser adequadamente tratados para evitar que dioxinas e furanos contaminem o meio ambiente.

A incineração é um processo de combustão controlada que transforma os resíduos em materiais inertes (cinzas e escórias) e gases. Não é um sistema de eliminação total, mas se obtém uma importante redução em massa e volume da matéria original. Consiste na oxidação total dos elementos combustíveis que contêm o resíduo, a temperaturas acima de 900°C em mistura com uma quantidade apropriada de ar por um período pré-determinado. Após a queima, os compostos orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente, dióxido de carbono gasoso, vapor de água e sólidos inorgânicos (cinzas). A energia química contida no resíduo se converte integralmente em calor. Os resíduos sólidos de serviços de saúde apresentam teores de enxofre e cloretos que podem produzir o dióxido de enxofre e ácido clorídrico, o que pode ser minimizado pelo uso de sistema de tratamento de efluentes adequado.

Em todas as plantas tem-se observado que os problemas mais freqüentes e que, portanto, devem merecer atenção especial são: controle do fluxo de resíduos, favorecendo a manutenção de temperaturas exigidas por lei; controle do excesso de ar, tanto na câmara de combustão primária, como secundária, que influi não só no desempenho do equipamento, mas também na composição dos efluentes gasosos; quantidade de umidade do resíduo, fator que influencia diretamente no seu poder calorífico - justificando inclusive procedimentos de pré secagem; tratamento adequado dos efluentes sólidos, líquidos e, principalmente os gasosos; consumo e recuperação de energia no processo.

Para os técnicos do Consórcio Internacional para Aterro de Jundiá, Várzea Paulista, Vinhedo, Campo Limpo Paulista e Cajamar: "O incinerador do tipo pirolítico queima sem poluir o ar, sendo ideal para o lixo séptico oriundo de hospitais, clínicas, farmácias etc." A diferença em relação ao processo convencional é que a pirólise consiste na decomposição térmica do resíduo, envolvendo alta temperatura (545 à 1000°C), queimando o resíduo na ausência de oxigênio. Em geral, nestas temperaturas, o sistema trata, destrói e reduz o volume do resíduo. Este fenômeno físico-químico constitui uma etapa prévia da combustão ou da gaseificação, que também se encontra como processos industriais. O gás e o semicoque gerados podem ser aproveitados como combustíveis em outros processos industriais e os hidrocarbonetos condensados são utilizados como matéria-prima para a elaboração de produtos de alto valor, como aceites pirolíticos e metanol.

O investimento inicial para um incinerador que opera a 20 toneladas/dia pode ultrapassar US\$ 2 milhões.

PROCESSO POR MICROONDAS

As microondas são definidas como aquelas freqüências que estão entre as ondas de rádio e as ondas de infravermelho, em um espectro eletromagnético. Elas aquecem os resíduos pré-fragmentados e umedecidos para gerar calor e liberar vapor. Esta combinação de microondas e mistura é necessária para produzir energia térmica que efetivamente trata (esteriliza, descontamina) os resíduos. Alguns sistemas requerem baixa



frequência de ondas para aquecer os RSSS fragmentados, umedecidos e compactados a temperaturas superiores a 90°C, que desse modo inativa micróbios contidos no resíduo.

Em geral, os sistemas de microondas comercializados consistem na colocação do resíduo (trazido por carrinhos ou caçambas) para dentro do equipamento por meio de braços automatizados. Num primeiro momento o resíduo é triturado (moído) reduzindo o volume em cerca de 80%, tornando-o irreconhecível como resíduo sólido de serviço de saúde. O equipamento padrão de microondas é continuamente monitorado por um sistema de computadores, que controla a desinfecção das partículas. Uma segunda moagem torna o material em partículas irreconhecíveis antes dele ser automaticamente depositado num container de resíduos convencionais, o qual é levado para a disposição final ou depósito Municipal.

A tecnologia conhecida como Desativação Eletrotérmica (ETD) desenvolvida por uma empresa norte-americana, em 1989, com larga atuação no gerenciamento de resíduos de saúde nos Estados Unidos, forneceu os equipamentos para a construção no bairro Jaguaré, Capital de São Paulo, da Unidade de Tratamento em uma área de 1.900 metros quadrados num investimento de US\$ 18 milhões para desinfecção de 50 toneladas diárias. No tratamento dos RSSS pela desativação eletrotérmica, os resíduos são depositados em um fosso à prova de vazamentos e totalmente fechado. A fossa é mantida sob pressão negativa, para que o ar e os odores não saiam. Em seguida, o material é duplamente triturado e submetido a um campo elétrico de alta potência gerado por ondas eletromagnéticas de baixa frequência. Após essa operação, todo o conteúdo é aquecido uniformemente a uma temperatura média de 95 graus e, conseqüentemente, desinfetado. O custo da tonelada tratada pode chegar a US\$ 280,00.

PROCESSO POR AUTOCLAVE

Os processos de esterilização de materiais destinam-se a remover ou destruir todas as formas de vida animal (vírus, bactérias na forma esporulada ou não) ou vegetal (saprófitas, de vegetais desprovidos de clorofila que se alimentam de animais ou vegetais em decomposição) presentes. Há diversos métodos de esterilização e sua escolha depende das características do material a ser esterilizado. Os mais utilizados são classificados em físicos e químicos. Os métodos físicos utilizam calor úmido ou seco e radiação ionizante ou não ionizante. Os métodos químicos utilizam óxido de etileno.

O emprego de calor úmido na esterilização de materiais hospitalares exige que o mesmo seja resistente à temperatura e pressões elevadas. No caso de resíduos, esta exigência não é fundamental pois, na maioria das vezes, não se importa com as características finais a que se encontrará o resíduo. A destruição das formas de vida presentes no material resulta da energia que recebem na forma de calor. Nesse processo, a fonte de energia é o vapor saturado.

O calor úmido ou autoclavagem é o tratamento com vapor saturado, onde os resíduos são expostos a temperatura de 121°C a 132°C por um período que varia de 15 a 30 minutos, a fim de promover a destruição das bactérias que ocorre pela termocoagulação das proteínas citoplasmáticas. A temperatura de evaporação da água depende do valor da pressão em que esta se encontra. Quando a água começa a evaporar, sua temperatura permanece constante até que ela mude totalmente de fase. Por isso, o vapor produzido durante esse processo é chamado de vapor saturado ou vapor úmido (com umidade ou água nas fases líquida e gasosa). Para uma boa eficiência do sistema é necessário que o resíduo esteja totalmente homogeneizado.

Os custos com operação são menores quando comparado aos processos de incineração e plasma. Sendo, geralmente, utilizado para tratamento de pequenas quantidades de RSSS tem, inclusive, baixo investimento inicial.

TECNOLOGIA DE PLASMA

No sistema de plasma, uma corrente elétrica é utilizada para ionizar um gás inerte, superaquecido, (ex. argon) para causar a formação de um arco elétrico a fim de promover altas temperaturas, em torno de 6000°C. Os resíduos são trazidos para dentro do sistema em temperaturas entre 1300 à 1700°C, decompondo-os em vapor de água, gás carbônico (que não é tóxico), destruindo os micróbios potencialmente patogênicos e convertendo o resíduo em materiais pesados em forma de “pedra vitrificada”, escória, metal fundido e gases inertes. O

tratamento reduz em 90% a necessidade de área de aterro e os conseqüentes riscos ambientais por este provocado. A redução em peso atinge 75%.

O processamento via plasma permite a recuperação (reciclagem) de metais valiosos e gera um subproduto inerte e vitrificado, mesmo quando processando resíduos perigosos e contaminados (hospitalar infectado ou cinzas de incineração). O subproduto pode ser reciclado, utilizando-o, por exemplo, em enchimento de pavimentação. Em casos como no tratamento de borras de tinta e resíduos sólidos de serviços de saúde, a cogeração de energia nas formas de eletricidade e vapor, que é posteriormente convertido em frio industrial ou ar condicionado.

VALA SÉPTICA

Em geral, são abertas valas nas proximidades dos aterros sanitários destinadas a comportar o despejo dos resíduos sólidos de serviços de saúde. Esta prática é adotada em caráter provisório ou emergencial, desde que obedecidas determinadas recomendações básicas, tais como: escolha de local apropriado de modo que o fundo da vala mantenha uma distância relativamente grande do lençol freático, impermeabilização prévia do fundo da vala, profundidade pequena das valas para permitir melhor controle, adequação da vala em solo com constituição argilosa, colocação dos resíduos diretamente na vala sem que sejam compactados sendo em seguida recobertos com cal e com camada de material de cobertura ou terra. O custo estimado desde a coleta até a disposição final, incluindo o resíduo urbano, pode atingir US\$ 80,00 por tonelada, para um município que coleta 200 toneladas de resíduo urbano e 1,5 toneladas de resíduo sólido de serviços de saúde.

VANTAGENS E DESVANTAGENS

Na Tabela 1. demonstram-se as vantagens e desvantagens dos processos de tratamento acima citados.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos processos de tratamento

| Tratamento | Vantagens | Desvantagens |
|-------------|--|---|
| Incineração | <ul style="list-style-type: none"> • pode ser utilizado para qualquer tipo de resíduo infectante • reduz em 15% o peso e o volume do resíduo • destrói os organismos patogênicos e substâncias orgânicas • a geração de vapor pode ser reaproveitada no próprio sistema ou convertida para a produção de energia elétrica • em sistemas modernos os gases são exaustivamente filtrados e lavados retirando-se as partes nocivas e as partículas finas • adequação para um sistema supervisorio, inteligente, inteiramente computadorizado, que monitora, em sistema digital, todos os pontos principais e controla todo o processo | <ul style="list-style-type: none"> • emissão de efluentes gasosos (dioxinas, furanos e partículas metálicas) expelidos pelas chaminés em incineradores imprópriamente projetados, operados por pessoal não qualificado ou quanto à composição do resíduo (materiais tipo PVC) • deve ser incorporado sistema de tratamento dos gases expelidos no processo • requer alto investimento inicial e para tratamento dos gases • a variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas no manuseio e operação do incinerador • exige manutenção intensa • a umidade acentuada do resíduo dificulta a queima no processo de combustão requerendo pré-aquecimento através de combustíveis auxiliares |
| Microondas | <ul style="list-style-type: none"> • investimento inicial relativamente baixo quando comparado ao processo de incineração • reduz o volume do resíduo em torno de 80% devido à prévia moagem, trituração e compactação deixando-o | <ul style="list-style-type: none"> • requer alto consumo de energia elétrica, podendo ter custo significativamente alto para a manutenção do sistema • as microondas não podem aquecer o material que está seco e é poroso, sem |

| | | |
|--------------|---|--|
| | <p>irreconhecível</p> <ul style="list-style-type: none"> • as microondas trabalham muito rápido e o RSSS é aquecido por dentro, já que as microondas podem penetrar no material diretamente (ex. plásticos) • em geral, a alimentação do processo é realizada automaticamente sem a intervenção do operador • pode ser combinado com o processo de esterilização a vapor | <p>a necessidade de certa quantidade de umidade (esporos secos e bactérias sobreviverão)</p> <ul style="list-style-type: none"> • não pode ser uniformemente umedecido sem ter sido previamente triturado - triturando o resíduo antes de ser esterilizado, entretanto, não é recomendável porque este processo pode ser perigoso pois o triturador se infectaria com o resíduo |
| Autoclave | <ul style="list-style-type: none"> • proporciona boa eficiência para esterilização de RSSS em pequenas quantidades, desde que acondicionados em embalagens especiais que permitam a passagem do vapor • este método tem provado eficácia para esterilização de instrumentais cirúrgicos • facilidade na instalação e operação do sistema • opera em condição higiênica e segura | <ul style="list-style-type: none"> • não reduz peso, volume e nem altera a aparência dos resíduos • não garantia de que todas as bactérias sejam totalmente destruídas na faixa da temperatura de trabalho (CETESB, 1991) • baixa eficácia para resíduos de maior densidade como os anátomo-patológicos, animais contaminados e resíduos líquidos |
| Plasma | <ul style="list-style-type: none"> • reduz o peso e volume em até 75% • permite a recuperação de metais valiosos • o material final gerado no processo “pedras vitrificadas” podem ser utilizadas na construção civil | <ul style="list-style-type: none"> • requer alto investimento inicial, pois o sistema está em processo experimental • baixa disponibilidade de fabricantes no mercado |
| Vala séptica | <ul style="list-style-type: none"> • baixo custo de investimento • pode ser construído nas proximidades do aterro sanitário do município | <ul style="list-style-type: none"> • se não controlado com rigor pode contaminar o lençol freático • deve ser utilizada somente como meio alternativo emergencial |

PARÂMETROS PARA A ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Na escolha do sistema de tratamento de RSSS, devem ser observados os seguintes parâmetros:

- definição da forma de segregação, coleta e transporte dos RSSS, conforme as legislações e normas vigentes;
- identificação do tipo, quantidade, volume, características do resíduo a ser tratado e porcentagem de elementos químicos (carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio, oxigênio, etc) determinando dessa forma o poder calorífico do resíduo que é de grande importância para específicos processos de tratamento;
- adequação do local a ser utilizado para as instalações de tratamento com disponibilidade de área e acesso;
- levantamento de recursos financeiros para construção do sistema, aquisição de equipamentos e contratação de pessoal especializado;
- determinação das fontes de energia disponíveis para operação e manutenção do sistema;
- estudo da necessidade de recuperação ou cogeração de energia do sistema;
- comparação das tecnologias disponíveis quanto às vantagens e desvantagens de cada processo.



CONCLUSÕES

O presente estudo propicia uma análise objetiva, técnica e econômica das informações sobre as várias tecnologias para tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde, assim sintetizada:

- eficiência do equipamento;
- vantagens e desvantagens por comparação entre os processos;
- destinação dos efluentes;
- recuperação energética;
- impacto ambiental.

Em termos técnicos, o estudo mostra que a seleção e a escolha de cada tecnologia tem uma aplicação diretamente proporcional ao tipo e à quantidade de resíduo a ser tratado, bem como a disponibilidade de recursos financeiros e energéticos do município ou do responsável pelo gerenciamento do sistema de tratamento.

O estudo empírico, por sua vez, traz subsídios para concluir-se que:

- sistemas de alto custo nem sempre são os mais eficientes;
- a separação dos resíduos contaminados e não contaminados, deve ser realizada de forma eficiente na origem dos mesmos, posto que isto contribui para a redução do volume coletado e, em decorrência, reduz o custo global do equipamento;
- pessoas treinadas para realizar a coleta dos resíduos sólidos de serviços de saúde e a operação dos equipamentos, estão menos expostas ao risco de contato com agentes biológicos, presentes no processo;
- o vapor gerado no processo pode ser convertido em energia elétrica ou pode ser reutilizado na alimentação do próprio sistema, tal como ocorre com o processo de incineração.

Finalmente, licito concluir-se que esta avaliação proporciona um estudo simplificado, sob o ponto-de-vista técnico e econômico, dos sistemas capazes de tratar os resíduos sólidos de serviços de saúde. Da mesma forma, contribui para facilitar aos responsáveis pelo gerenciamento dos sistemas de tratamento, a seleção e a escolha do modelo de tratamento ideal, adequado a cada finalidade e amparados por uma revisão das tecnologias disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKUTSU, J. Resíduos de Serviços de Saúde: Proposição de Metodologia para Análise de Alternativas de Sistemas de Tratamento. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1992.
2. CENTRO DE REFERÊNCIA EM GESTÃO AMBIENTAL PARA ASSENTAMENTOS HUMANOS. Ministério do Meio Ambiente. Universidade Livre do Meio Ambiente, 2002.
3. GOMÉZ, M. I. J. S.; MORA, I. E. S.; VÁZQUEZ, M. R. El Manejo de los Residuos Generados por los Servicios de Salud – Situación Actual, Problemática y Consideraciones para su Control. Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Perigosos, A.C. Primera edición, 1998.
4. LUQUE, M. H. Evaluacion de Nuevas Tecnologias para el Tratamiento de los Residuos Solidos Biocontaminados. *IV Congreso Ibero Americano de Ingenieria Mecánica – CIDIM'99*. Santiago, Chile, 1999.
5. MACHADO, M. C. J. & SOBRAL, G. M. O. Resíduos Sólidos Hospitalares. *III Congresso Brasileiro de Limpeza Pública*. Publicação CETESB. São Paulo, 1978.
6. OROFINO, F. V. G. Aplicação de um Sistema de Suporte Multicritério Saat For Windows – Na Gestão dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde – Caso do Hospital Celso Ramos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
7. SALKIN, I. F.; KRISIUNAS, E. Alternatives do Medical Waste Incinerators. *Journal of Solid Waste Technology and Management*. Volume 25. NO.1, 1998.

VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental



8. SILVA, C. L. Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde em Municípios de Porte Médio. Tese de Livre Docência. Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia e Tecnologia da UNESP, 1998.