

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

SUBSÍDIOS BIBLIOGRÁFICOS E PROPOSTA METODOLÓGICA
PARA ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE COMBUSTÃO,
EM ESCALA LABORATORIAL, PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS
COM RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 26 / 10 / 00

Ass.:  PAULO FERREIRA

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016747

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos

2000



Classe	TESE-EESC
Out.	2199
Tombo	T0236/00

✓ 31100016747

st 1110102



Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

F3835 Ferreira, Paulo
Subsídios bibliográficos e proposta metodológica para elaboração de um sistema de combustão, em escala laboratorial, para realização de ensaios com resíduos de serviços de saúde / Paulo Ferreira. -- São Carlos, 2000.

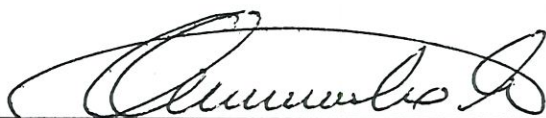
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch.

1. Resíduos de serviços de saúde (RSS). 2. Tecnologias de tratamento e disposição final. 3. Incineração.
4. Sistemas de combustão em escala laboratorial.
5. Ensaios de combustão. I. Título.


FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado **PAULO FERREIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 18-08-2000
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **HARRY EDMAR SCHULZ**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **WELLINGTON CYRO DE ALMEIDA LEITE**
(UNESP - Campus de Guaratinguetá)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

A Eurides e Amália, meus pais

A Maria Cláudia e Luiza, companheiras de todos os momentos

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch pelo incentivo, apoio e orientação fornecidos durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Josmar D. Pagliuso pelas valiosas sugestões fornecidas no exame de qualificação e materiais bibliográficos cedidos.

Ao Eng. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro pelas valiosas sugestões.

Ao Biólogo Cláudio Sérgio Lisi - M.Sc. incentivador e amigo, pelas discussões e apoio na organização das idéias.

Aos Profs. Dr. Luiz Antonio Daniel e Dr. Eduardo Cleto Pires pelas sugestões fornecidas no exame de qualificação.

Ao Químico Nelson de Andrade Stevão - M.Sc. pelas sugestões e apoio.

Ao Químico Ronaldo Ruiz Duarte - M.Sc. pelas sugestões e apoio.

Aos Profs. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda e Dr^a Maria Guiomar Carneiro Tomazello pela amizade, incentivo, colaboração e apoio.

A Bióloga Maria Valéria Lopes Cruz, Técnica de Nível Superior da Seção de Radionuclídeos Naturais do CENA/USP – Piracicaba-SP, pelas valiosas sugestões.

Ao José Aurélio Bonassi “Pingim” Técnico de Nível Superior da Seção de Isótopos Estáveis do CENA/USP – Piracicaba-SP, pelas valiosas sugestões.

Aos funcionários e colegas do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP, que contribuíram para realização deste trabalho.

A Maria Cláudia P. Ferreira e Elisângela A. Ferreira pelas sugestões e revisões do texto.

Aos Meus irmãos que me apoiaram e incentivaram a realizar este trabalho.

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório Ecolyzer pela compreensão e incentivo.

Ao Sr. Walter Decio Fernandes Andrade, pela amizade, convívio e dedicação na digitação do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

*"Nossa vontade interior é
quem dirige o nosso destino"*

Helen Keller

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Resíduos Sólidos	4
3.1.1 Resíduos de serviços de saúde	5
3.2 Tratamento e Disposição dos Resíduos de Serviços Saúde	6
3.2.1 Incineração	9
3.2.2 Tecnologias térmicas	21
3.2.3 Esterilização	22
3.2.3.1 Calor úmido ou autoclave	22
3.2.3.2 Radiação ionizante ou irradiação	24
3.2.3.3 Microondas	25
3.2.3.4 Desinfecção química	26
3.2.4 Disposição final no solo	27
3.2.4.1 Valas sépticas	27

3.2.4.2 Calagem	29
3.2.4.3 Aterros sanitários	30
3.2.5 Minimização e reciclagem	31
3.2.6 Processos de tratamento de rejeitos radioativos	34
3.3 Sistemas de Combustão Utilizados em Laboratórios de Pesquisa	35
4 METODOLOGIA	47
4.1 Aspectos Gerais	47
4.2 Descrição do Sistema de Combustão	49
4.3 Operação do Sistema de Combustão	53
4.3.1 Amostras	54
4.3.2 Combustão das amostras	54
4.4 Controle de Qualidade	55
4.4.1 Procedimento para amostragem	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6 RECOMENDAÇÕES	61
ANEXOS	63
ANEXO I – Resolução Conjunta SS/SMA-I, de 02/05/96	64
ANEXO II – Resolução CONAMA 05/08/93	67
ANEXO III – Norma CETESB E-15.011	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Policlorodibenzo-p-dioxina (PCDD) – Estrutura Molecular Típica	11
Figura 2 - Policlorodibenzofurano (PCDF) – Estrutura Molecular Típica	12
Figura 3 - Fluxograma de processo analítico para determinação de PCDD e PCDF...	13
Figura 4 - Lavador de gases – Representação esquemática	16
Figura 5 - Precipitador Eletrostático – Representação esquemática	17
Figura 6 - Esquema de seccionalização de um Precipitador Eletrostático	17
Figura 7 - Diagrama simplificado do EDT utilizado por GUPTA et al., 1994	37
Figura 8 - Linha de combustão de amostras orgânicas para análises de razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, por espectrometria de massas do CENA/USP	41
Figura 9 - Linha de combustão e síntese benzênica de amostras destinadas a datação por ^{14}C do Laboratório do CENA/USP	44
Figura 10 - Modelo esquemático do sistema de combustão proposto	50
Figura 11– Detalhamento do dispositivo proposto para combustão das amostras	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Número de isômeros possíveis de PCDD e PCDF como função do número de átomos de cloro na molécula	11
Quadro 2 - Separação e reciclagem de resíduos hospitalares	32
Quadro 3 - Descartáveis desnecessários	33
Quadro 4 - Proposta de comissão de proteção ambiental para hospitais	33
Quadro 5 - Composição das amostras examinadas por GUPTA et al., 1994.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CENA	- Centro de Energia Nuclear na Agricultura
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNEN	- Comissão Nacional de Energia Nuclear
COMCAP	- Companhia Melhoramentos da Capital
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
EDT	- Equipamento de Destruição Térmica
EPA-EUA	- Agência de Proteção Ambiental - Estados Unidos da América
GC/MS	- Cromatografia Gasosa acoplada a Espectômetro de Massa
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	- Norma Brasileira Registrada
ng/Nm ³	- nano grama por Normal metro cúbico
PCB's	- Bifenilas Policloradas
PCDD	- Policlorodibenzo- <i>p</i> -dioxina
PCDF	- Policlorodibenzofurano
PVC	- Cloreto de Polivinil
RSS	- Resíduos de Serviços de Saúde
TCDD	- Tetraclorodibenzo- <i>p</i> -dioxina

RESUMO

FERREIRA, P. (2000) *Subsídios bibliográficos e proposta metodológica para elaboração de um sistema de combustão, em escala laboratorial, para realização de ensaios com resíduos de serviços de saúde*. São Carlos, 2000. 86p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No Brasil, atualmente, a incineração é a tecnologia mais utilizada no tratamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). Entretanto, o processo requer critérios rígidos no dimensionamento dos equipamentos, bem como no controle operacional, sob o risco de provocar a poluição do meio ambiente. Desta forma, a configuração e a operação dos equipamentos são fatores limitantes desta tecnologia, justificando a realização de pesquisas no sentido de propor alternativas visando minimizar o impacto causado ao meio ambiente por esta tecnologia. Neste contexto, o presente trabalho, através de uma revisão bibliográfica sobre o tema, apresenta os principais parâmetros que envolvem o tratamento dos RSS, através do processo de incineração. São apresentadas, também, as tecnologias utilizadas em laboratórios de pesquisa para realização de ensaios de combustão, fornecendo subsídios para utilização desta tecnologia. Finalmente, a partir desta base teórica pesquisada, é esboçado um sistema de combustão, em escala laboratorial, para realização de ensaios de combustão com amostras de RSS, que possibilite a definição das principais variáveis que controlam o processo.

Palavras-chave: resíduos de serviços de saúde (RSS); tecnologias de tratamento e disposição final; incineração; sistemas de combustão em escala laboratorial; ensaios de combustão.

ABSTRACT

FERREIRA, P. (2000) *Bibliographical Subsidies and methodological proposal for elaboration of a combustion system, in a laboratorial scale, for the performance of essays with medical services residue*. São Carlos, 2000. 86p. Dissertation (Master's Degree) Engineering School of São Carlos. São Paulo University.

In Brazil, nowadays, incineration is the most used technology for handling Medical Services Residue (MSR). However, this process requires rigid criteria to determine the correct equipment size, as well as in the operational control, to avoid risk of polluting the environment. Thus, the configuration (outline) and operation of equipment are important factors to be considered concerning this technology, justifying the realization of intensive research for the proposal of alternatives aiming minimize the impact of this technology over the environment. In this context, this work, through a revision of the existing bibliography on the theme, presents the main parameters involving MSR treatment, making use of incineration. The technologies used in laboratories for the realization of combustion essays are also presented, furnishing data for the utilization of this technology. Finally, using this theoretical basis as a starting point, we propose a combustion system, for use in laboratorial scale, for the performance of combustion essays with MSR samples, having as target the observation of the main varieties of the process.

Key-words: medical services residue; final disposal and treatment technologies; incineration; combustion systems in laboratorial scale; combustion essays.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os resíduos sólidos produzidos pela sociedade moderna destacam-se os resíduos gerados nos estabelecimentos de saúde que, apesar de representarem pequena parcela do total de resíduos sólidos gerados, são particularmente importantes, devido aos riscos de poluição e contaminação da população e do ambiente (ANDRADE, 1995).

É consenso entre as autoridades sanitárias, a importância do manejo e destinação final adequada desse gênero de resíduo. Observa-se, entretanto, que a maior parte dos resíduos desta natureza são manuseados e dispostos de forma imprópria. Atualmente, a técnica mais utilizada para o tratamento dos resíduos de serviços de saúde é a incineração, porém, normalmente empregam-se sistemas com configurações e tecnologias que não atendem aos padrões ambientais constantes na legislação vigente, resultando em uma combustão ineficiente e acarretando a liberação de gases tóxicos e a geração de um volume excessivo de cinzas e escórias (SCHALCH, 1990).

É necessário então, a realização de ensaios em laboratório que permitam promover a combustão de um substrato em diferentes condições de trabalho, e estabelecer parâmetros para uma adequada condição de queima.

A tecnologia de combustão de amostras em laboratório é amplamente utilizada em diversos países do mundo, inclusive no Brasil, onde é empregada nas pesquisas de datação por ^{14}C e determinação da razão isotópica,

entre outras atividades. Para tanto, são utilizados sistemas fechados que permitam promover a combustão de pequenas quantidades (a partir de miligramas) de diversas composições de amostras, sem a contaminação do meio externo.

Neste trabalho de pesquisa é apresentado um esboço de sistema fechado de combustão, em escala laboratorial, baseado em modelos já existentes e utilizados com outras finalidades, que permita a realização de diversos ensaios de combustão com RSS sob condições controladas. O sistema é constituído de fornos com resistência elétrica, câmaras de quartzo, dispositivos para controle de temperatura e pressão, recipientes criogênicos, recipientes para amostragem e armazenagem dos gases e escórias produzidos na combustão, visando a execução de análises qualitativas e quantitativas dos parâmetros contemplados na legislação ambiental vigente.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo fixar as condições necessárias para realização de ensaios de combustão com amostras de RSS, através da proposta de um sistema básico, em escala laboratorial, levando em consideração os seguintes objetivos específicos:

1. Fornecer subsídios para implantação de um sistema de combustão, visando o estudo experimental dos RSS.
2. Justificar, através dos dados obtidos na literatura, a viabilidade da instalação de um sistema de combustão que possibilite o estudo dos parâmetros que controlam o tratamento térmico dos RSS.
3. Descrever e apresentar um esboço de sistema de combustão, adaptado a partir de modelos já existentes e utilizados em laboratórios de pesquisa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Faz parte desta revisão bibliográfica a definição dos Resíduos Sólidos gerados nos Estabelecimentos de Saúde, bem como as tecnologias utilizadas no tratamento e disposição final de tais resíduos. A incineração, por se tratar da tecnologia mais utilizada e pelo objetivo do presente trabalho, é abordada com maior profundidade. Finalmente são apresentados os principais sistemas de combustão utilizados, em escala laboratorial, para realização de experimentos envolvendo combustão de amostras de interesse ambiental e suas particularidades.

3.1 Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são definidos como sendo aqueles nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica hospitalar, de serviços de varrição e agrícola. Ficam incluídos nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Para efeito de classificação, os resíduos sólidos estão divididos em

três classes: Classe I – resíduo perigoso, Classe II – resíduo não inerte e Classe III – resíduo inerte. (ABNT-NBR 10.004, 1987).

3.1.1 Resíduos de serviços de saúde - (RSS)

Até há pouco tempo (e ainda atualmente) os resíduos de serviços de saúde eram denominados, principalmente, de resíduos hospitalares ou lixo hospitalar, numa referência explícita aos resíduos gerados por aquele tipo de estabelecimento. Entretanto, a verificação de que outros tipos de estabelecimentos também geram resíduos com características similares aos resíduos gerados em hospitais criou no meio técnico a denominação aceita de Resíduos de Serviços de Saúde. A partir de dezembro de 1987 a terminologia de resíduos de serviços de saúde foi adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (TAKAYANAGUI, 1993) e, atualmente, encontra-se firmada entre as definições da NBR 12.807 da referida associação e com validade a partir de 01.04.1993 (ANDRADE, 1995).

Textualmente, conforme preconizado na NBR-12807 – Terminologia, “Resíduo de Serviço de Saúde é todo aquele gerado por prestadores de assistência médica, odontológica laboratorial, farmacêutica, instituições de ensino e pesquisa médica, relacionadas a população humana, bem como clínicas veterinárias, possuindo potencial de risco, em função da presença de materiais biológicos capazes de causar infecção, produtos químicos perigosos, objetos perfuro-cortante efetiva ou potencialmente, necessitando de cuidados específicos de acondicionamento, transporte, armazenagem, coleta e tratamento” (MOREL, 1991).

Para efeito de classificação, a ABNT editou em 1993 as normas

NBR 12.807 – Terminologia; NBR 12.808 – Classificação; NBR 12.809 – Manuseio; - NBR 12.810 – Coleta, referentes ao resíduos de serviços de saúde (FORMAGGIA, 1996).

3.2 Tratamento e Disposição dos Resíduos de Serviços de Saúde

Segundo o Centro de Vigilância Sanitária do Estado de São Paulo (1989), o tratamento dos RSS é definido como "qualquer processo que, reproduzido dentro de condições de segurança e com eficiência comprovada, modifica suas características físicas, químicas e biológicas, ajustando-as aos padrões aceitos para uma determinada forma de disposição final".

De acordo com esta Resolução, Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos é o conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos no solo, garantindo-se a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

Pode-se verificar que o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA aceita as definições do Centro de Vigilância Sanitária do Estado de São Paulo quanto a destinação final dos RSS (**Anexo I**).

A definição do sistema de tratamento e disposição final dos RSS a ser adotado depende de vários critérios, que podem ser agrupados quanto aos vários resíduos gerados; quanto às questões locais e quanto às características do sistema a ser utilizado, conforme especificados a seguir:

- Resíduos gerados: Devem ser levadas em consideração as características quantitativas e qualitativas;

- Questões locais: Dizem respeito à qualidade dos recursos humanos envolvidos; as condições reais de se implantar a segregação na origem; a legislação vigente; a inserção no sistema de resíduos do município; e os recursos financeiros disponíveis;
- Sistema a ser adotado: Devem ser levados em consideração alguns aspectos como a disponibilidade de espaço físico para instalação; análise das limitações do processo; operacionalidade; confiabilidade, existência de equipamentos de controle de poluição, bem como o custo de investimento e operação.

Com base nas definições anteriormente levantadas, conclui-se não ser possível afirmar que esse ou outro método seja o ideal para tratamento de todos os resíduos de serviços de saúde, pois acredita-se não existir sistema que se adapte igualmente às particularidades de cada estabelecimento gerador, grupo de estabelecimentos ou mesmo para um determinado município.

Considera-se também que a disposição final destes resíduos deve ser aquela que por si só, ou associada a um determinado tratamento prévio, impeça a disseminação de agentes patogênicos ou de qualquer outra forma de contaminação.

Segundo a CETESB, 1997, na falta de um sistema municipal de disposição final, o estabelecimento gerador dos resíduos ficará responsável por ela, bem como pelo eventual tratamento a que forem submetidos os resíduos.

Dentre os métodos de tratamento indicados para os resíduos de serviços de saúde, destacam-se: Incineração, Esterilização a Vapor; Microondas e Desinfecção Química. A incineração é o tratamento mais

utilizado, pois além de eliminar o risco da contaminação, minimiza o problema de espaço na disposição final dos resíduos devido à redução do volume inicial em até 80% (OROFINO, 1996).

No Brasil diversos hospitais e municípios utilizam a tecnologia de incineração para tratamento de RSS. Normalmente são pequenos incineradores, com tecnologia ultrapassada e sem equipamentos de controle adequado dos gases poluentes do ar. Ocorre ainda, a falta de dados mais concretos e confiáveis (GRIPP, 1998).

Conforme a Resolução N° 05/93 do CONAMA (**Anexo II**) a incineração do lixo hospitalar não é obrigatória como meio de tratamento, porém é considerada por muitos técnicos como a forma mais indicada para o tratamento e disposição dos RSS.

Segundo a CETESB, 1991, em parecer que subsidiou discussões a respeito da Resolução N° 01/91 do CONAMA, que desobrigava a incineração, diversos relatórios de organismos internacionais sobre incineração de resíduos hospitalares apontavam para o seu aperfeiçoamento e nunca como um procedimento inadequado. Este parecer afirma ainda que a incineração é imprescindível para o tratamento de resíduos não passíveis de recuperação, de tratamentos convencionais ou de disposição no solo, desde que sejam bem operados e providos de sistemas de controle de poluição adequados e que a construção de pequenos incineradores seja desencorajada, quando não há disponibilidade de pessoal treinado e adequado.

Alguns cuidados devem ser observados antes da tomada de decisão pela instalação de um incinerador, pois para uma boa incineração a exatidão no conhecimento das características do lixo a ser queimado e os

recursos comprometidos nesta fase podem prevenir erros de alto custo durante as fases seguintes. Além disso, na escolha do local para a instalação do incinerador aparecerão barreiras sociais e técnicas que deverão ser negociadas para que o processo seja bem sucedido, como o efeito sobre os moradores, o impacto ambiental, os aspectos logísticos, a disposição das cinzas e escórias geradas e a tecnologia de incineração a ser usada.

3.2.1 Incineração

No contexto da preservação ambiental e dos recursos naturais, o resíduo sólido deixa de ser “lixo” para ser insumo e, no caso específico da incineração, os resíduos podem se tornar energia, através da sua adequada combustão e recuperação do calor gerado. Portanto, a incineração é uma alternativa real de tratamento a ser estudada no âmbito do gerenciamento de resíduos sólidos de uma dada comunidade, especialmente em grandes aglomerações urbanas ou regiões com dificuldade de áreas para aterramento (GRIPP, 1998).

A incineração é o processo que promove a oxidação a alta temperatura que transforma materiais, reduz seu volume e destrói os microrganismos. O conjunto de recursos e instalações necessários para a operação de incineração num mesmo local é denominado sistema de incineração (CETESB, 1992).

Os remanescentes da queima são geralmente constituídos de gases, como o dióxido de carbono (CO_2); óxidos de enxofre (SO_x); nitrogênio (N_2); oxigênio (O_2) proveniente do ar em excesso que não é queimado completamente; água (H_2O); monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrogênio

(NO_x) e as cinzas e escórias, constituídas por metais ferrosos e materiais inertes, como vidros e pedras (SCHALCH, 1990).

A escória é da ordem de 15 a 20% da massa de resíduos e, quando provenientes de bons incineradores, pode ser encaminhada para aterros sanitários. Quando a combustão é incompleta, os gases, principalmente monóxido de carbono (CO) e partículas (fuligem ou negro de fumo) e provavelmente dioxinas e furanos, podem poluir a atmosfera, dependendo de suas concentrações. Outro aspecto importante a ser considerado na incineração é a possibilidade da recuperação do calor gerado no processo da queima de resíduos (SCHALCH, 1990).

A família das dioxinas e furanos é composta por 210 isômeros, 75 de dioxinas (PCDD's) e 135 de furanos (PCDF's). Estes são os compostos de maior toxicidade já analisados pela EPA – Environmental Protection Agency, especialmente o 2,3,7,8 TCDD (tetraclorodibenzo-*p*-dioxina). Apresentam estrutura molecular constituída de dois anéis benzênicos ligados por dois ou por um átomo de oxigênio, formando a dioxina (**Figura 1**) ou o furano (**Figura 2**), respectivamente. O elevado número de isômeros deve-se ao fato de o elemento cloro (Cl) poder estar presente em qualquer uma das posições numeradas (1,2,3,4,5,6,7,8,9), numa quantidade que pode variar de 1 a 8 átomos de Cl (cloro) por molécula, o que possibilita diversas combinações que dão origem a esta família (GRIPP, 1998). O **Quadro 1** apresenta o número de isômeros possíveis de PCDD e PCDF.

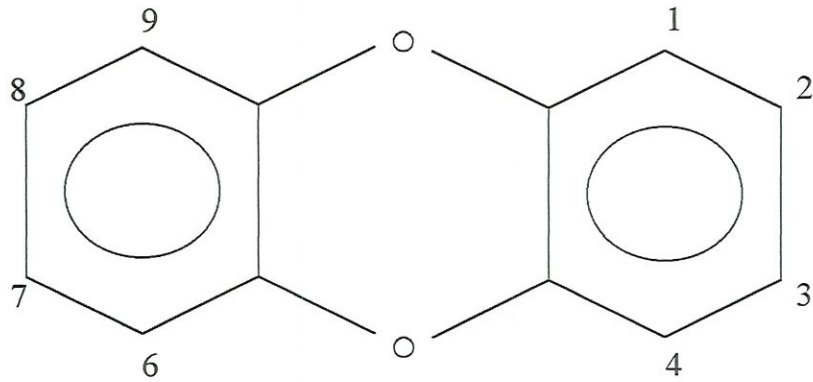


FIGURA 1 - Policlorodibenzo-*p*-dioxina (PCDD) – Estrutura Molecular Típica

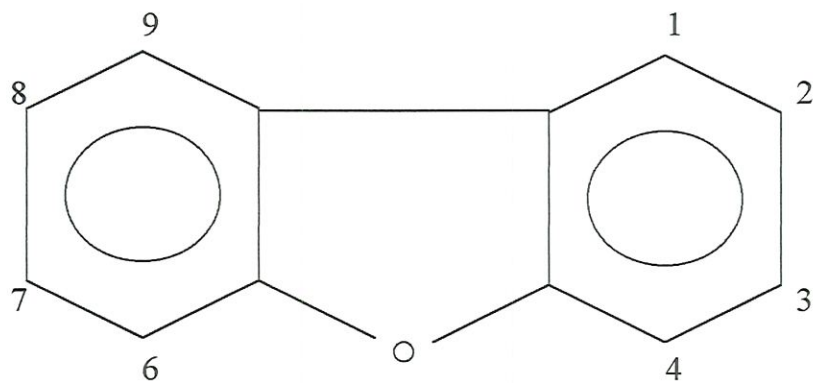


FIGURA 2 - Policlorodibenzofurano (PCDF) – Estrutura Molecular Típica

QUADRO 1 – Número de isômeros possíveis de PCDD e PCDF como função do número de átomos de cloro na molécula.

Número de átomos de cloro	Número de isômeros de PCDD	Número de isômeros de PCDF
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
Total	75	135

Fonte: WILLIAMS, 1992 in GRIPP (1998)

A EPA estabeleceu o limite de 30 ng/Nm³ para o total de dioxinas e furanos emitidos de incineradores de lixo municipal com capacidade igual ou maior que 250 toneladas por dia. Na Alemanha, o limite para a emissão de dioxinas e furanos em incineradores de resíduos perigosos é de 0,1 ng/Nm³ TEQ (unidade de equivalência de toxicidade, que tem como referência a 2,3,7,8 tetracloro dibenzo-p-dioxina). No Brasil, atualmente, apenas o Centro de Pesquisa da PETROBRAS/RJ desenvolve pesquisas para validação de metodologia analítica para PCDD e PCDF.

Quanto a determinação analítica vale salientar a importância do emprego de uma metodologia padrão a ser utilizada na avaliação da geração de dioxinas e furanos. A Agência Canadense de Meio Ambiente publicou um método de referência¹ enfatizando três aspectos básicos que merecem ser considerados – procedimentos para coleta de amostras, procedimentos analíticos e o formato do relatório final (HAMILTON, 1995). O procedimento analítico apresentado na **Figura 3** mostra alguns aspectos críticos que devem ser rigorosamente seguidos. Toda a vidraria empregada deverá ser cuidadosa e rigorosamente lavada com solventes e os extratos analisados com o objetivo de verificar a presença de dioxinas e furanos. Da mesma forma o método fornece critérios específicos para o ajuste, calibração e verificação da performance do equipamento de GC/MS (Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de Massa) utilizado para realização da análise. A metodologia analítica proposta, apesar de elaborada e demandar maior tempo para sua execução, tem por objetivo assegurar que os dados obtidos estejam em perfeita concordância com as especificações e requisitos do método.

¹ Environment Canada, Reference Method for the Determination of PDDs and PCDFs in Pulp Mill Effluents. Environment Canada Report EPSI/RM/19, February 1992.

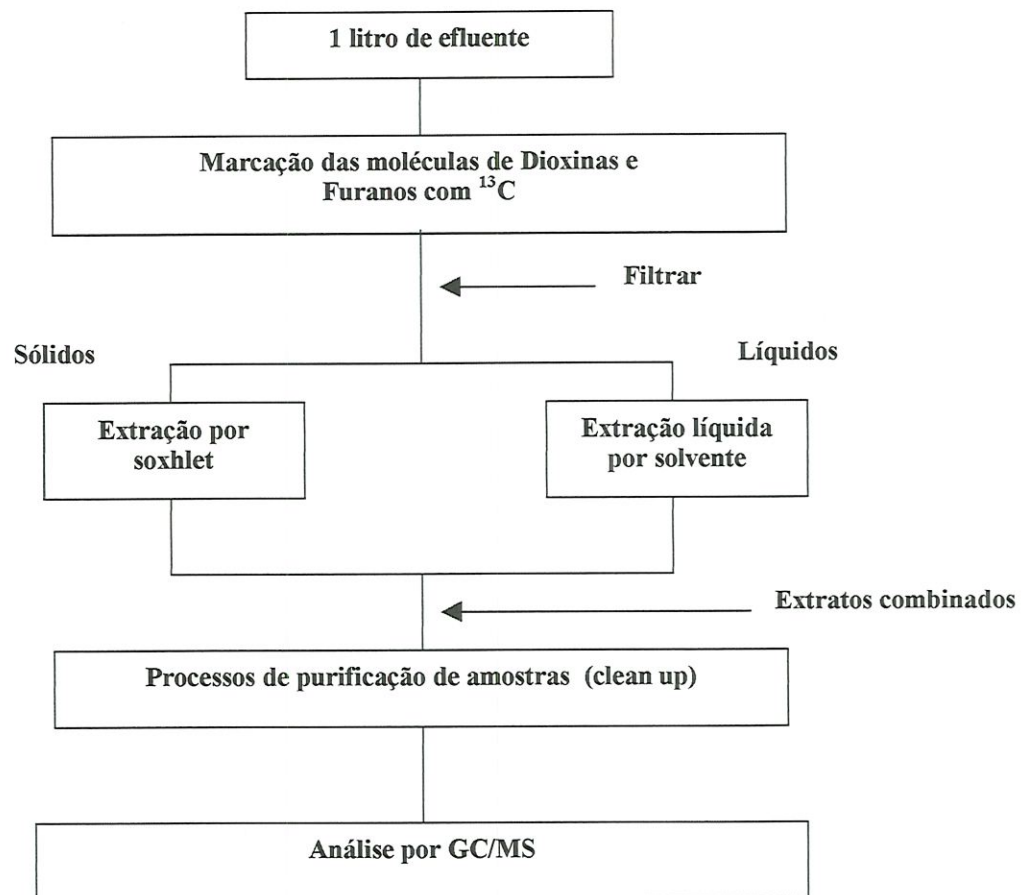


FIGURA 3 – Fluxograma do processo analítico para determinação de Dioxinas e Furanos

O projeto do sistema de incineração, e os materiais utilizados em sua construção/operação devem ser adequados ao tipo de serviço (incineração de RSS, portos, aeroportos, indústrias, etc.). Em função da capacidade de carga deve ser provido, também, de indicadores ou registradores das condições de operação: temperatura e pressão em cada câmara, teor de oxigênio na última câmara, velocidade de arraste e teor de monóxido de carbono na última câmara, além de apresentarem sistemas para tratamento dos gases liberados (CETESB, 1992).

Segundo especificações da CETESB (1997), visando minimizar impactos ambientais, um sistema de incineração deve apresentar, no mínimo, duas câmaras de combustão, trabalhando com excesso de oxigênio. Quanto a temperatura de combustão, a Norma E-15011 da CETESB, preconiza que a temperatura dos gases na saída da primeira câmara deve ser superior a 800°C, com tempo de residência dos resíduos igual ou superior a 60 minutos.

Para atingir padrões de controle de emissões para a atmosfera, a incineração deve conter duas fases: a combustão primária e combustão secundária (CETESB, 1997).

COMBUSTÃO PRIMÁRIA: Nesta fase, ocorrem a secagem, o aquecimento, a liberação de substâncias voláteis e a transformação do resíduo remanescente em cinzas. Neste processo é gerado o material particulado.

COMBUSTÃO SECUNDÁRIA: Os gases, vapores e material particulado, liberados na combustão primária, são soprados ou succionados para a câmara de combustão secundária ou pós combustão. Nesta etapa ocorre a destruição das substâncias voláteis e parte do material particulado.

Normalmente, os incineradores em operação trabalham de 820 a 850°C na primeira câmara. Para a última câmara, a Norma indica que a temperatura de trabalho deve ser superior a 1000°C, com um tempo de detenção de 0,8 segundos. Este tempo de permanência é necessário para que se obtenha a combustão completa. Velocidades altas (tempo de residência reduzido) aumentam a possibilidade de poluição atmosférica com gases tóxicos, incluindo dioxinas e furanos.

Segundo REGO (1994), os parâmetros que devem ser rigorosamente seguidos para promover uma boa combustão são: o controle da

temperatura; o tempo de retenção na primeira e última câmara combustão; assegurar a exposição dos materiais às chamas, efetivando a queima e possibilitando um maior contato das partículas com o oxigênio necessário para a combustão; disponibilidade de oxigênio, em taxas adequadas ao processo, com a finalidade de assegurar-se a completa destruição dos resíduos, inclusive dos subprodutos formados, tais como dioxinas, furanos e PCB's.

Quanto ao controle de combustão, o projeto, construção, operação e manutenção adequados são aspectos fundamentais do controle de emissões. O monitoramento e o controle contínuos são importantíssimos, e o treinamento dos operadores pode assim ser considerado básico para prevenir a poluição. Deve-se evitar a queima de plásticos clorados, minimizando assim a poluição atmosférica.

Alguns dos fatores que interferem na operação de um incinerador, podendo vir a causar poluição ambiental e ineficiência na destruição de microorganismos, são: gradientes de temperatura causados pelo uso intermitente; velocidades incompatíveis com os critérios de projeto; alimentação de resíduos em desacordo com o plano de operação pré-estabelecido (sobrecarga); umidade excessiva do resíduo; proteção de microorganismos, por exemplo, por serem cobertos por camadas de lixo úmido, não permitindo a combustão completa dos resíduos (CETESB, 1991).

O controle de material particulado é realizado através da remoção das partículas por meio de tratamento dos efluentes gasosos, sendo que os dois sistemas mais empregados são o lavador de gases (**Figura 4**) e o precipitador eletrostático (**Figuras 5 e 6**). Os sistemas de controle de gases devem possuir alta eficiência de remoção, caso contrário os problemas

permanecerão, trocando simplesmente o solo pelo ar contaminado.

O princípio do lavador de gases consiste em submeter os gases a uma cortina de água que removerá o material particulado em suspensão, além de retirar partículas de pequeno diâmetro, como metais e vapores de metal oxidado; o precipitador eletrostático consiste em uma série de eletrodos aterrados, intercalados com outros ligados a uma fonte de alta tensão em corrente contínua, onde as partículas em suspensão são carregadas eletrostaticamente, e atraídas pelos eletrodos; as partículas são removidas dos eletrodos e recolhidas na tremonha por meio de vibração em funis dispostos em seu fundo.

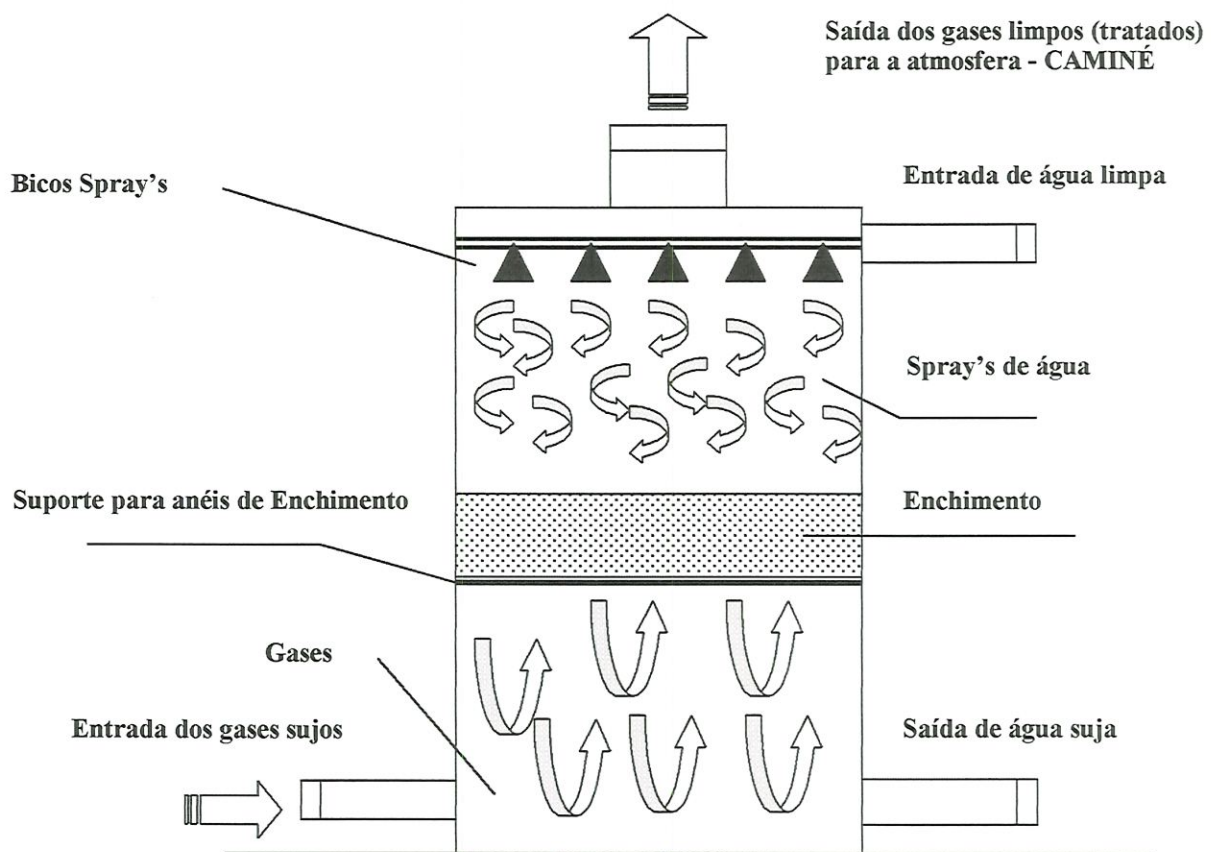


FIGURA 4 – Lavador de Gases – Representação Esquemática

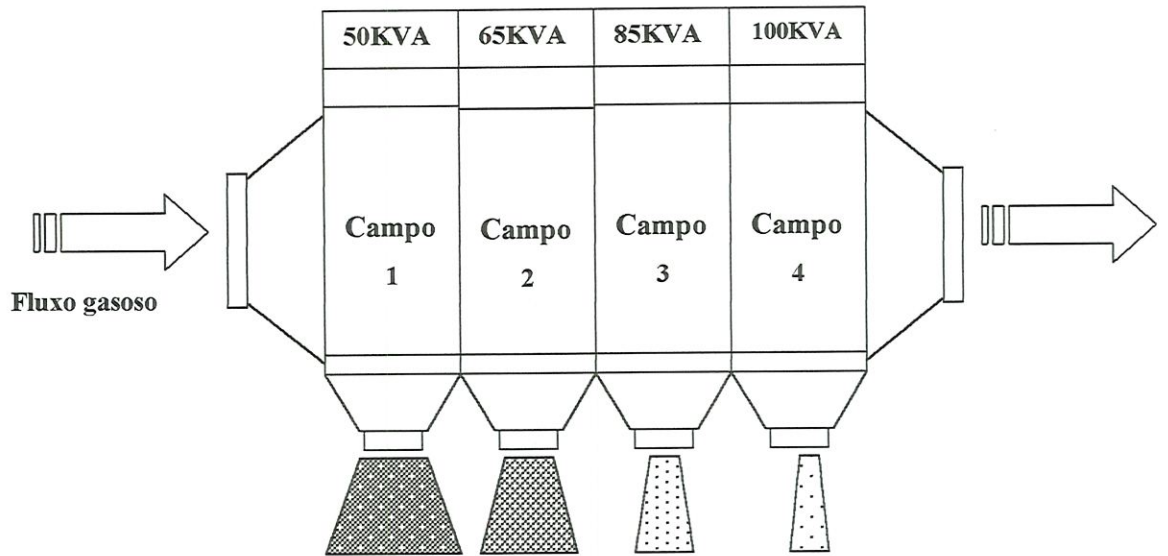


FIGURA 5 - Representação esquemática de um Precipitador Eletrostático

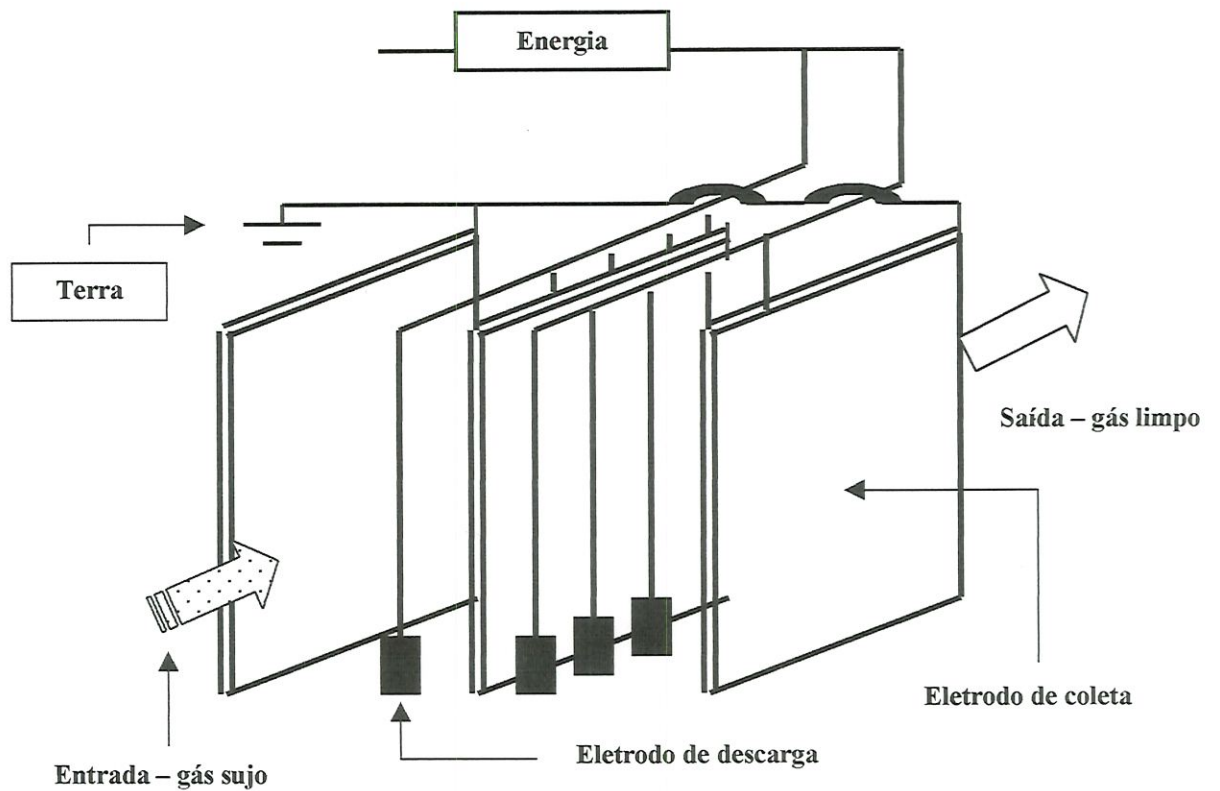


FIGURA 6 - Esquema de seccionalização de um Precipitador Eletrostático

Segundo JARDIM & WELLS (1995), os metais são apenas redistribuídos ao passar pelo incinerador, sendo que uma parte é evaporada ou arrastada para a corrente gasosa e outra parte permanece nas cinzas e pode ser recuperada para a reciclagem. As cinzas, após serem analisadas deverão ser dispostas em aterros Classe I ou II de acordo com sua classificação final.

Os custos do tratamento dos resíduos de serviços de saúde por meio de incineração são elevados, em grande parte em função das exigências ambientais com a depuração dos gases. No entanto, segundo JARDIM & WELLS (1995), os custos diminuem à medida que se aumenta a capacidade de carga do equipamento de incineração, indicando que só é economicamente viável o tratamento térmico de grandes quantidades de resíduos.

Segundo BERTUSSI FILHO (1994), os dois tipos de incineradores mais usados são:

Câmaras Múltiplas: que consiste basicamente em duas câmaras em série separadas por chicanas para decantação de material particulado. Normalmente, apenas na segunda câmara é mantido um queimador para garantir as condições típicas de combustão secundária.

Ar Controlado: este tipo de incinerador opera, em sua câmara primeira, com vazão de ar abaixo do necessário para a combustão completa, tornando a queima lenta e com baixa geração de material particulado. Na câmara secundária, os gases são aquecidos entre 900 e 1000°C, destruindo os compostos tóxicos. A energia gerada na queima pode dispensar o uso do combustível auxiliar durante operação manual. A pureza dos gases de

combustão dependerá da composição e da homogeneidade do resíduo alimentado.

O regime de operação pode ser (i) em **batelada**, ou seja, alimentando uma carga por vez e aguardando que se complete sua incineração para depois alimentar outra carga; ou (ii) **contínuo**, em que a alimentação de resíduos não é interrompida durante a incineração.

A partir da bibliografia consultada resume-se os aspectos positivos e os negativos da incineração como processo de tratamento e/ou disposição final dos RSS.

Aspectos positivos:

- pode ser empregada para qualquer tipo de resíduo infectante, e mesmo para alguns resíduos especiais (sem a necessidade da segregação intra-hospitalar);
- redução final significativa de peso e volume (aproximadamente a 15% em peso do inicial);
- os produtos finais são cinzas e gases (se bem operado);
- destrói organismos patogênicos e substâncias orgânicas;
- opera independentemente das condições meteorológicas;
- em comparação com outras tecnologias de tratamento, como por exemplo aterro sanitário, a incineração necessita de área muito reduzida;
- elimina características repugnantes dos resíduos patológicos e de animais;

- evita o monitoramento do lençol freático a longo prazo, visto que os resíduos são destruídos e não guardados.

Aspectos negativos:

- difícil controle dos efluentes gasosos, podendo ocorrer emissão de dioxinas, furanos, partículas metálicas, dependendo do projeto e da operação do incinerador;
- exige pessoal especializado para operação e manutenção;
- dificuldade para queima de resíduos com alta umidade;
- grandes investimentos inicial e em medidas de controle ambiental.
- a variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas no seu manuseio e na operação do incinerador além de exigir manutenção constante.
- os resíduos hospitalares apresentam teores de enxofre e cloretos que podem produzir dióxido de enxofre e ácido clorídrico na reação de combustão. Tais produtos surgirão nos gases de combustão expelidos pela chaminé em incineradores imprópriamente projetados ou operados.

O controle e a avaliação da performance do sistema de incineração deve ocorrer de acordo com a capacidade de carga (Kg/dia) do equipamento em questão, obedecendo a frequência e os parâmetros relacionados na Norma E-15011 da CETESB, apresentada no **Anexo III**.

3.2.2 Tecnologias térmicas

Conforme JARDIM & WELLS (1995), é apresentado a seguir um resumo de diversas tecnologias térmicas existentes:

- **Ar controlado:** incinerador em que a vazão do ar de combustão é reduzida, visando minimizar a geração de material particulado;
- **Forno rotativo:** incinerador com tambor rotativo para fazer o resíduo girar e ficar exposto ao ar de combustão;
- **Câmaras múltiplas:** incinerador com compartimentos em série para acomodar diferentes fases da incineração e facilitar a separação do material particulado;
- **Grelhas móveis:** incinerador típico para lixo municipal, munido de grelhas, cujo movimento permite o deslocamento gradual do resíduo ao longo do incinerador;
- **Injeção de líquido:** incinerador com bicos atomizadores para a incineração do resíduo líquido em suspensão;
- **Leito fluidizado:** leito cilíndrico vertical com areia mantida em alta turbulência por vazão de ar recirculante, especialmente adequado para resíduos em forma de lodo;
- **Fornos de cimento²:** grandes fornos utilizados para a produção de cimento, e que devido à alta temperatura de operação e grande massa de matéria-prima processada, permite incineração de vários tipos de resíduo;

² No Brasil esta tecnologia é utilizada por empresas fabricantes de cimento. Entretanto, no Estado de São Paulo a legislação ambiental vigente não permite a aplicação da mesma. Por outro lado, no Estado do Rio de Janeiro existe um parecer favorável quanto ao co-processamento em fornos de cimento, e a empresa PORTLAND PARAISO de Cantagalo/RJ ocupa um lugar de destaque na utilização desta tecnologia de tratamento.

- **Queimadores de gás:** dispositivos para a queima de gases combustíveis residuais provenientes de processos de fabricação;
- **Incineração catalítica:** processo de destruição de resíduos gasosos em que o catalisador permite o uso de temperaturas menores;
- **Pirólise:** semelhante à incineração, mas realizada com admissão restrita de ar de combustão; provocando a decomposição térmica do lixo a baixas temperaturas;
- **Plasma:** aquecimento do resíduo a altíssimas temperaturas pela aplicação de correntes elétricas;
- **Inativação térmica:** aquecimento a seco, sem adição de vapor, água ou chama.

3.2.3 Esterilização

Segundo o Ministério da Saúde, citado por BERTUSSI FILHO (1994), esterilização é o processo de destruição ou eliminação de todas as formas de vida microbiana, seja na forma vegetativa ou esporulada, mediante a aplicação de agentes físicos ou químicos.

Dentre os processos físicos de esterilização conhecidos, e que podem ser utilizados para o tratamento de RSS, estão: calor úmido ou autoclave, radiação ionizante e microondas.

3.2.3.1 Calor úmido ou autoclave

É o tratamento dos resíduos com vapor saturado, onde estes são expostos à temperatura de 121°C a 132°C durante 15 a 30 minutos para a

destruição das bactérias, que ocorre pela termocoagulação das proteínas citoplasmáticas. Este método é largamente utilizado nos serviços de saúde, com o objetivo de esterilizar os artigos críticos e semi-críticos. Entretanto sua utilização, para os resíduos de serviços de saúde, vem ocorrendo apenas nos últimos anos, especialmente nos países de gestão avançada de resíduos sólidos. No Brasil esta técnica está sendo utilizada principalmente para os resíduos biológicos (BERTUSSI FILHO, 1994).

O tratamento destes resíduos por autoclavagem é eficiente desde que os mesmos sofram uma preparação prévia para sua homogeneização, de maneira a permitir que o vapor consiga atingir toda sua superfície, sem que haja barreiras à propagação do calor (REGO, 1994). A autoclavagem é considerado por ZANON (1992) um método seguro de esterilização, que pode ser usado para o lixo potencialmente infectante sem despesa adicional, e, conforme CETESB (1991) há orientação de que os resíduos hospitalares autoclavados deverão ser dispostos em aterros sanitários e jamais reciclados, uma vez que não há garantia no que se refere à destruição de patogênicos.

As vantagens e desvantagem deste método estão resumidas da seguinte forma:

VANTAGENS

- ser um sistema limpo, que não produz resíduos tóxicos ou contaminantes;
- pode ser realizada no próprio gerador;
- os resíduos depois de esterilizados, são considerados resíduos comuns;
- fácil instalação;

- hospitais familiarizados com a operação destas unidades;
- quando bem operado, apresenta bom grau de segurança na esterilização.

DESVANTAGENS

- os serviços de saúde no Brasil, não conseguem ter autoclaves em número suficiente para a esterilização de artigos críticos e semi-críticos, sendo que, muitas vezes utilizam-se de panelas de pressão convencionais para esterilizar estes materiais. Desta forma, seria inviável exigir, o uso do autoclave para tratamento de resíduos;
- baixa eficácia para resíduos de maior densidade como os anatomopatológicos, animais contaminados e resíduos líquidos;
- os sacos plásticos utilizados para acondicionar os resíduos dificultam a penetração do vapor, mesmo quando abertos. Por isto, o sistema exige embalagens especiais que permitam a passagem do vapor e não sofram alterações;
- não reduz peso nem volume, nem altera a aparência dos resíduos;
- exige pessoal altamente qualificado e treinado.

3.2.3.2 Radiação ionizante ou irradiação

É uma tecnologia recente para o tratamento dos resíduos, que utiliza radiações gama, a partir do cobalto 60 e ultravioleta, para destruir os microorganismos infecciosos. A esterilização é alcançada pela circulação do material ou resíduo ao redor de fonte ativa de cobalto 60, recebendo dosagens de radiações uniformes. Nos EUA, o uso de radiações gama é semelhante à

técnica usada para a esterilização de alimentos e outros produtos de consumo. É apontada como uma tecnologia emergente no tratamento de resíduos de serviços de saúde (BERTUSSI FILHO, 1994; IPT/CEMPRE, 1995).

3.2.3.3 Microondas

Consiste na prévia trituração e aspersão de água nos resíduos, que são submetidos, na área de processamento, à ação de vapor e radiação de microondas e dessa maneira alcançam temperatura e pressão máxima de esterilização (BERTUSSI FILHO, 1994).

Segundo REGO (1994), uma das produtoras destes equipamentos informa que o rápido efeito das microondas e sua ação de dentro para fora do material garantem que toda a massa atinja a temperatura requerida, assegurando a desinfecção de cada partícula e reduzindo o material a um quinto do seu volume original. Informa-se ainda que o material assim tratado possui um poder calorífico igual ao da madeira (900 BTU/lb), podendo ser usado em plantas de geração de energia.

Esta técnica é muito recente, sendo utilizada atualmente com sucesso na Alemanha, Itália, França e Estados Unidos, em escala de laboratório (BERTUSSI FILHO, 1994).

No Brasil este sistema já foi adotado por algumas cidades, destacando-se Campinas-SP, Marília-SP, São José dos Campos-SP, Blumeau-SC (MOTTA, 1996). Entretanto, por se tratar de experiências recentes, ainda não foram publicados trabalhos com resultados de monitoramentos nestes estabelecimentos. Segundo MOTTA (1996), estimam-se custos da ordem de R\$ 500,00/tonelada. A partir de informações obtidas junto à Diretoria da

COMCAP, o serviço de esterilização por microondas tem sido oferecido em visitas constantes de empresas operadoras por aproximadamente R\$ 800,00/tonelada (OROFINO, 1996).

Resumindo as observações anteriormente apresentadas sobre este sistema, destaca-se:

PONTOS POSITIVOS:

- Os resíduos ficam irreconhecíveis e são reduzidos a um quinto do volume original;
- Após tratados, apresentam alto poder calorífico (900 BTU/lb);
- Possibilidade de não provocar poluição atmosférica.

PONTOS NEGATIVOS:

- Alto consumo de energia;
- Tecnologia ainda pouco conhecida no meio técnico nacional.

3.2.3.4 Desinfecção química

É um processo em que os resíduos são mergulhados em solução química desinfetante, que destrói agentes infecciosos. Os resíduos líquidos são despejados em sistemas de esgoto e os resíduos sólidos secos resultantes são dispostos em aterro sanitário. No entanto, as recomendações para seu uso referem-se mais à desinfecção de utensílios e superfícies do que de resíduos, sendo necessário um monitoramento de cada lote dos produtos utilizados para maior garantia. O maior inconveniente é que este processo usa produtos tóxicos e deixa resíduos tanto ou mais perigosos para o meio ambiente, além

de seu emprego estar associado a altos riscos ocupacionais. São contraindicados para resíduos anátomo-patológicos, animais contaminados e outros e pela natureza dos resíduos, pois estes agentes são ineficazes na presença de excesso de matéria orgânica (BERTUSSI FILHO, 1994; JARDIM & WELLS, 1995).

3.2.4 Disposição final no solo

3.2.4.1 Valas sépticas

É uma alternativa de caráter emergencial para dispor os resíduos hospitalares, quando não se dispõe de outro sistema que esteja previsto na Resolução CONAMA N° 05/93, consistindo no aterramento dos resíduos através do método de trincheiras.

Considerando as condições financeiras e técnicas de muitos municípios e o pequeno volume de lixo hospitalar produzido em relação à produção total de resíduos, pode ser entendida como uma forma razoável de destinação final para estes casos, desde que sejam obedecidos critérios básicos para escolha da área e para operação (BRACHT, 1993).

A escolha da área deve buscar características como: terreno plano, alto, argiloso e com possibilidade de material de empréstimo para o cobrimento dos resíduos; boa capacidade de retenção de água e de fácil drenagem; lençol freático bem abaixo da superfície (de 3 a 5 metros); afastada de adensamento populacional, no mínimo 1000 metros; afastada no mínimo 1000 metros de qualquer curso d'água como rios, córregos e riachos; ventos dominantes preferencialmente contrários ao sentido dos adensamentos populacionais; cobertura vegetal secundária (BERTUSSI FILHO, 1994;

MOTTA & ORTH, 1988; BRACHT, 1993).

Estes mesmos autores, sugerem como dimensões máximas para profundidade e largura três metros, sendo o comprimento variável, além de alertarem para as obras de infra estrutura indispensáveis como cercamento total da área para evitar a presença de animais e a prática da catação além de sistema de drenagem superficial de águas pluviais.

Há orientação de antes dos resíduos serem cobertos com terra, estes devem receber uma camada de cal virgem de um centímetro de espessura (BRACHT, 1993). Segundo MOTTA, 1996, a vala deve ser impermeabilizada com manta plástica, onde os resíduos são dispostos, desinfetados com hipoclorito de sódio e imediatamente cobertos.

O uso de valas sépticas para a disposição final de resíduos infectantes causa polêmica no meio técnico. A seu favor pesam as afirmações de que não existem dados científicos suficientes que comprovem a ligação entre microorganismos em um aterro sanitário e doenças humanas e que são poucos os casos de contaminação do lençol freático que possa ser atribuído ao percolamento de líquidos de um aterro sanitário. Os argumentos contrários à sua utilização baseiam-se na existência de informações circunstanciais e epidemiológicas que confirmam que, para algumas doenças, os resíduos exercem uma relação etimológica bem definida sendo comprovada a presença de coliformes e estreptococcus fecais em altíssimas concentrações nos aterros sanitários (OROFINO, 1996).

3.2.4.2 Calagem

Segundo PEREIRA (1992), a técnica de recobrimento com cal (CaO) dos resíduos de serviços de saúde é complementar ao sistema de valas sépticas, tendo como objetivo a ação neutralizadora e bactericida do óxido de cálcio, podendo ser adotada por municípios conscientes do problema e carentes de recursos financeiros. Este autor entende que essa técnica poderá também ter seus riscos, mas só o fato de se dispor o chamado lixo séptico de forma isolada poderá garantir uma maior segurança no gerenciamento do risco, pois em aterros, sejam eles sanitários, industriais ou hospitalares, não se soluciona o problema e sim, administra-se o risco, através de um gerenciamento e monitoramento responsável.

Foi realizado pela CETESB, 1990, um estudo preliminar de avaliação da prática de disposição de resíduos de serviços de saúde em valas com cal, sem revestimento de manta no fundo da vala. Foram três meses de ensaio, para a proporção de 0,75 kg de cal/kg de resíduo, com a cal colocada de forma a proporcionar a cobertura completa e uniforme das camadas, o que, conforme observado por esta entidade, não ocorre na prática. A conclusão desta pesquisa é a de que a cal, utilizada desta forma, é ineficiente portanto na eliminação de patogênicos.

BERTUSSI FILHO (1994), orienta a utilização da cal com o objetivo de diminuir o metabolismo bacteriano, e com isso minimizar o processo de decomposição, evitando assim a formação de mau cheiro, e conseqüentemente o aparecimento de vetores.

3.2.4.3 Aterros sanitários

Aterro sanitário é um processo utilizado para disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar, que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas permite uma confinamento segura, em termos de controle da poluição ambiental.

Um aterro sanitário consiste no confinamento dos resíduos no menor espaço possível, através de compactação, e no isolamento destes em relação ao ar livre, mediante cobertura com uma camada de solo, preferencialmente argila.

A infra-estrutura básica para que um sistema possa ser considerado aterro sanitário consiste de: sistema de proteção das águas subterrâneas; sistema de drenagem superficial de águas pluviais; sistema de drenagem e tratamento de líquidos percolados; sistema de captação de gases e sistema de monitoramento do lençol freático.

Segundo BERTUSSI FILHO (1994), apesar das controvérsias sobre a destinação dos RSS em aterros sanitários, este ainda é o melhor método para os resíduos domiciliares. E como a maioria dos municípios brasileiros sequer possuem aterro, entende que a municipalidade que possuir um verdadeiro aterro sanitário poderá utilizar parte da área para o aterramento dos resíduos infectantes, através das valas sépticas, e de um rigoroso controle e monitoramento dos resíduos aterrados.

MOTTA & ORTH (1988) recomendam esta prática apenas para o recebimento de alguns materiais, como roupas cirúrgicas contaminadas de áreas de tratamento; materiais pontiagudos adequadamente embalados; alguns resíduos farmacêuticos e químicos, quando compatíveis com o ambiente de

aterro; carcaças de animais, quando não envolvidas com pesquisa de materiais infecciosos; frascos de urina, fezes e materiais estomacais, se não forem provenientes de áreas de alto risco.

Como medida preventiva, é recomendado que os resíduos de serviços de saúde sejam esterilizados antes de serem dispostos em aterros sanitários (REGO, 1994).

3.2.5 Minimização e reciclagem

Estas técnicas tem por objetivo principal a redução de resíduos que precisam ser encaminhados ao tratamento e disposição final, reduzindo riscos ambientais e custos.

Conforme BERTUSSI FILHO (1994), a reciclagem é uma alternativa para os resíduos perigosos gerados pelos serviços de saúde, como por exemplo, implantação de programas de recolhimento do mercúrio. Assim, ao invés deste metal pesado ser armazenado indeterminadamente, poderá retornar aos fabricantes para reaproveitamento. Segundo este autor, apenas 3% do total dos estabelecimentos de saúde de Curitiba acondicionam corretamente e repassam o mercúrio para os fabricantes para posterior reaproveitamento .

Segundo MOREIRA & WAJNSTAJN (1993), em geral 30 a 50% do total dos resíduos hospitalares pode ser reciclado, não havendo risco infeccioso associado a este procedimento. Do ponto de vista de controle de infecção, afirmam que somente poucos itens não se prestam a reciclagem, como os pérfuro-cortantes, plásticos empregados em culturas microbiológicas, seringas contaminadas com sangue e equipos de infusão. O **Quadro 2** apresenta alguns resíduos produzidos nos hospitais que podem ser reciclados.

QUADRO 2 - Separação e reciclagem de resíduos hospitalares

Tipo	Exemplos
VIDROS	frascos de infusão, frascos de bebidas
PAPÉIS	material de embalagem, jornais, papelão
METAIS	especialmente latas, alumínio, prata de reveladores de Raios X
PLÁSTICOS	polipropileno, polietileno, espumas
MATERIAL BIOLÓGICO	alimento, pó de café, flores

Fonte: MOREIRA & WAJNSTAJN, 1993 in OROFINO (1996)

Estes mesmos autores comentam o fato do uso de descartáveis estar aumentando nos últimos anos e propõem a substituição de muitos destes materiais por outros reutilizáveis ou reduzidos, como por exemplo a troca das luvas de PVC por luvas de látex e outros produtos a base de PVC. Afirmam que muitos descartáveis são desnecessários para o controle de infecção e podem ser substituídos por itens reutilizáveis, citando como exemplo o fato de que os utensílios de alimentação e propés descartáveis não têm qualquer prova concreta de eficácia na redução dos índices de infecção, porque os patógenos hospitalares não são transmitidos através dos sapatos. Por outro lado as mãos são quase sempre contaminadas quando calçando os propés.

A maioria dos itens listados no **Quadro 3** são constituídos de PVC, sendo que o cloreto de vinil é um carcinogênico conhecido e os estabilizadores contém metais pesados (como por exemplo, cádmio). O PVC produz, ao ser incinerado, dioxinas, furanos e metade de seu peso em ácido clorídrico, portanto contribuindo para a poluição ambiental. O ácido clorídrico, por seu poder de corrosão, diminui significativamente a vida útil dos incineradores (MOREIRA & WAJNSTAJN, 1993).

QUADRO 3 - Descartáveis desnecessários

<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de ventilação (100% PVC), filtros de ventilação • Máscaras de oxigênio • Pinças, tesouras • Utensílios • Propés (100% PVC), luvas de PVC • Campos de plástico, capote, campos descartáveis, lenços descartáveis • Sistema de aspiração • Humidificadores • Frascos de drenagem • Termômetro • Manguito de pressão arterial
--

Fonte: MOREIRA & WAJNSTAJN, 1993 in OROFINO (1996)

Segundo DASCHNER (1992), in MOREIRA & WAJNSTAJN (1993), é importante que todo hospital tenha uma comissão de proteção ambiental, cujos membros mais importantes e possíveis tópicos e metas são apresentados no **Quadro 4**.

QUADRO 4 - Proposta de comissão de proteção ambiental para hospitais

Membros	Tópicos, Sugestão, Metas
Administração	Comprar somente produtos com pouco ou nenhum material tóxico de embalagem
Enfermagem do controle de infecção	Forçar fabricantes e distribuidores a retornar seus materiais de embalagem. Devolver materiais de propaganda indesejáveis
Epidemiologia hospitalar, Farmácia e Serviço de Limpeza	Trocar e reduzir produtos e materiais tóxicos (ex.: PVC, fosfatos, FCH, alumínio, fenóis e cloretos em desinfetantes, detergentes e limpeza de sanitários)
Manutenção e Engenharia	Comprar mais produtos reutilizáveis e recicláveis. Reduzir perdas de energia e água. Evitar desinfecção tóxica e desnecessária. Comprar material (ex.: desinfetantes, sabões, detergentes) em contêineres grandes, reabastecíveis. Usar somente papel reciclável

Fonte: MOREIRA & WAJNSTAJN, 1993 in OROFINO (1996)

3.2.6 Processos de tratamento de rejeitos radioativos

O gerenciamento adequado de rejeitos radioativos provenientes dos usos de radionuclídeos na medicina, pesquisa e indústria é considerado tão importante quanto aquele referente aos rejeitos provenientes do ciclo do combustível nuclear, apesar da contribuição em termos volumétricos ser bem menor. Entendemos por gerenciamento adequado a utilização de procedimentos e técnicas administrativas que visem a minimização da produção de rejeitos bem como atender aos objetivos de segurança. A Resolução CNEN-NE-6.05, de 1985, orienta a gerência de rejeitos radioativos em instalações radioativas, e SUAREZ & MIYAMOTO (1990) apresentam técnicas chamadas de "dez mandamentos" para minimizar a geração de rejeitos na área médica e de instituições de pesquisa. Os dez mandamentos consistem em orientações quanto ao uso de técnicas de minimização da produção de rejeitos e redução de volume, como por exemplo: utilizar sempre que possível radionuclídeos de vida curta; adquirir somente a quantidade necessária de material radioativo; ou evitar contaminações radioativas desnecessárias utilizando planejamento e manuseio adequados.

Denomina-se tempo de meia vida, de um radionuclídeo, o tempo necessário para o nível de radiação do radionuclídeo em questão decair pela metade (CNEN, 1985).

São alguns exemplos de tipos mais comuns de rejeitos sólidos que podem conter material radioativo: cateter, filtros de diversos tipos, tubulações de vidro e de plástico, frascos, seringas, materiais de proteção pessoal, luvas, etc. (SUAREZ & MIYAMOTO, 1990) e os radionuclídeos mais comuns dentro de um laboratório de medicina nuclear, e suas respectivas

meia-vida ($T_{1/2}$), são:

- ^{125}I - Iodo - meia-vida = 60,4 dias
- ^{131}I - Iodo - meia-vida = 8,0 dias
- ^{99}Tc - Tecnécio - meia-vida = 6,0 horas

Basicamente os cuidados com os rejeitos radioativos consistem na segregação do radionuclídeo de acordo com sua respectiva meia-vida e armazenamento em depósito especial (poço de decaimento), contendo informações como conteúdo, procedência e data. Deve-se evitar misturar resíduos contaminados com radionuclídeos diferentes e lixo inativo com lixo ativo. Após o decaimento da radioatividade dos resíduos contaminados, medidos através de detectores de radiação, os mesmos são encaminhados como resíduo comum.

3.3 Sistemas de combustão utilizados em laboratórios de pesquisa

A combustão de amostras através de linhas fechadas, em escala laboratorial, é amplamente utilizada em pesquisas, onde a finalidade principal é a obtenção de informações quanto ao tratamento térmico de substâncias e purificação dos gases produzidos no processo, de acordo com o objetivo da pesquisa e da própria tecnologia empregada.

GUPTA et al. (1994), empregaram um sistema de combustão em escala laboratorial para estudo comparativo da destruição térmica de produtos plásticos e não-plásticos, comumente oriundos dos RSS. Os resíduos não-

plásticos eram constituídos principalmente de celulose, enquanto que os resíduos plásticos continham compostos como polietileno, cloreto de polivinil, poliestireno, polipropileno, nylon, poliuretano e outros compostos da mistura.

Os autores afirmam que de todas as tecnologias de tratamento permanentes disponíveis a destruição térmica é a que assegura maior grau de destruição possibilitando, simultaneamente, maior redução de massa e volume além de possuir maior potencial de recuperação de energia.

Através da realização de uma investigação teórica e experimental foi possível analisar o comportamento de diversas misturas de materiais plásticos e não plásticos submetidos a destruição térmica em escala de laboratório e a sua influência na emissão de monóxido de carbono, materiais particulados, dioxinas, furanos e metais tóxicos.

Os resultados demonstraram que a composição dos resíduos tem significativa influência nas emissões e que a mistura de certos resíduos apresenta como benefícios a redução da geração de emissões tóxicas e resíduos sólidos.

A **Figura 7** apresenta um diagrama simplificado do equipamento de destruição térmica (EDT) utilizado por GUPTA et al. (1994). O EDT em escala laboratorial consiste de uma câmara de destruição, sistemas de controle e instrumentação da câmara, equipamento (trem) de amostragem de gases segundo método EPA 23, sistema para contínuo monitoramento e análise de gases, microscópio de varredura eletrônica para análise de metais e método de ativação neutrônica para análise das cinzas de fundo. A câmara de destruição medindo 12"x 12" x 18" estava equipada com um queimador de gás natural utilizado para ignição inicial e auxiliar de queima. O interior da câmara era

revestido com cimento refratário, tipo ASTM C449 empregado com o objetivo de minimizar a transferência de calor para o ambiente. A alimentação contínua da câmara de destruição era obtida através de um alimentador rotativo acionado por um motor elétrico. O EDT era equipado com sistemas que tornavam possível avaliar o efeito dos parâmetros operacionais, tais como, tipo combustível, taxa de alimentação, excesso de ar, tempo de residência, temperatura durante a destruição térmica e formação de produtos da queima.

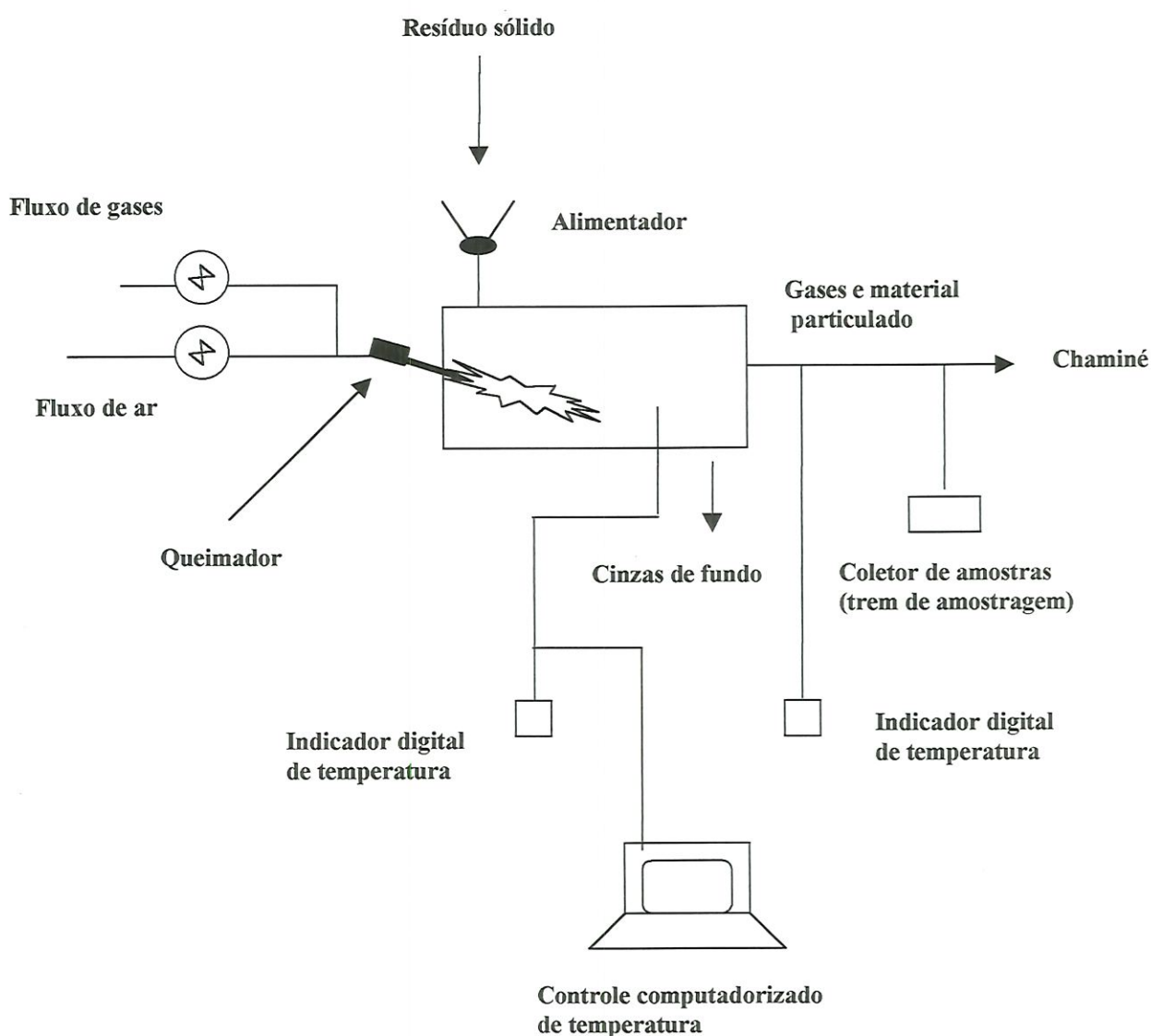


FIGURA 7 - Diagrama simplificado do equipamento de destruição térmica utilizado por GUPTA et al (1994).

Os experimentos foram conduzidos de modo a estudar o efeito provocado pela variação da fração plástica e não plástica na composição do combustível nas características das emissões. Foram analisadas amostras com sete diferentes tipos de composição conforme ilustra o **Quadro 5**.

QUADRO 5 – Composição das amostras examinadas – plástico e não-plástico.

Amostra N °	Plástico (% volume)	Não Plástico (% volume)
1	0	100 ⁽¹⁾
2	15	85
3	50	50
4	50 ⁽²⁾	50
5	50 ⁽³⁾	50
6	50 ⁽⁴⁾	50
7	100 ⁽⁵⁾	0

Fonte: GUPTA (1994)

- (1) Papel e papelão
- (2) Mistura de plásticos sem poliuretano e latex
- (3) Mistura de plásticos sem cloreto de polivinila
- (4) Mistura de plásticos sem nylon®, latex, poliuretano e acetato
- (5) Mistura de plásticos sem polietileno, PVC, poliestireno, polipropileno, nylon®, latex, acetato, poliuretano

A câmara de destruição era aquecida com gás natural e a chama piloto mantida acesa até que fosse atingida a temperatura desejada. O fluxo de ar era mantido constante e a taxa de alimentação da mistura variava de 0.128 lb/min a 0.441 lb/min em função da variação do poder calorífico de cada amostra.

Os experimentos demonstraram maior concentração de dioxinas e furanos a partir da mistura 100% plástica e menor concentração na mistura 100% não plástica. Tal fato deve estar associado à presença de compostos

precursores tais como bifenila policlorada (PCB) formada durante a queima da mistura plástica. Temperaturas elevadas não apresentaram efeito significativo na emissão destes compostos. A formação de dioxinas e furanos mostrou-se pouco dependente da temperatura da câmara e fortemente dependente da composição dos resíduos.

Por sua vez, a presença de metais nas emissões atmosféricas e nas cinzas de fundo não apresentaram um padrão definido para a sua variação. De modo geral, no entanto, a presença de plásticos na mistura aumenta a emissão de metais.

FÄNGMARK et al (1994), por sua vez, estudaram a influência da temperatura de pós combustão na formação de dioxinas (PCDDs) e furanos (PCDFs) utilizando um incinerador piloto (ENVIRON. Sci. TECHNOL). Os resultados demonstraram que compostos tais como, PCDDs, e PCBs exibem um comportamento similar dependente da temperatura e tempo de residência entre 260 e 430° C. A maior taxa de formação ocorre ao redor de 340° C e diminui a temperaturas mais altas. A fim de minimizar a formação destes compostos clorados os gases da queima deverão ser resfriados rapidamente abaixo de 260° C porque em condições isotérmicas a formação ocorre mesmo nesta baixa temperatura.

MOOK (1968), utilizou uma câmara de combustão construída de quartzo e envolta por resistência elétrica, promovendo a combustão de amostras orgânicas a uma temperatura de aproximadamente 900°C. A opção pelo quartzo se deu pelas características deste material resistir a elevadas temperaturas e por sua transparência permitir a visualização da combustão, tornando este processo bem controlado e eficiente. A utilização de ligas

metálicas torna-se inviável, pois nesta temperatura poderia ocorrer o arraste de seus metais constituintes, ocasionando contaminação dos gases produzidos.

WHEELER (1958), descreve que o quartzo N° 7913 pode ser utilizado intermitentemente a uma temperatura de até 1300°C. O que justifica o uso deste material para construção de linhas de combustão.

Durante visitas realizadas ao CENA/USP foram mostradas diversas alternativas de adaptações de linhas de combustão já existentes e que podem contribuir para a realização de experimentos com amostras de RSS.

Linhas de combustão com características semelhantes ao sistema proposto neste trabalho são utilizadas para determinações de Razões Isotópicas de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ por espectrometria de massas e Datação por ^{14}C de amostras orgânicas ou inorgânicas. Estas metodologias são utilizadas para estudos ambientais, agrícolas, arqueológicos, entre outros.

Para esses trabalhos são empregadas linhas comerciais de combustão com objetivos específicos. A grande maioria das linhas de combustão em operação nos laboratórios de centros de pesquisas (como por exemplo, no CENA/USP - Piracicaba/SP), foram construídas e adaptadas de maneira artesanal, a partir de quartzo, vidros de borosilicato, fornos de resistência e demais equipamentos e materiais utilizados para este fim. A possibilidade de adaptação e variação nas condições de trabalho de acordo com o objetivo a que se destina é a principal vantagem deste tipo de equipamento (BONASSI, 1999)³.

A metodologia de determinação de razões isotópicas de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ requer a admissão de amostras gasosas em um espectrômetro de

³ Comunicação Pessoal, José Aurélio Bonassi, técnico de Nível Superior da Seção de Isótopos Estáveis do CENA/USP – Piracicaba-SP. (1999).



massas, que determina a concentração dos diferentes isótopos de um elemento. No caso do carbono, primeiramente deve-se extrair o dióxido de carbono da matéria orgânica para que se possa realizar a análise no espectrômetro. Desta forma, a metodologia de preparo e combustão da amostra através de um processo de combustão é extremamente importante para a obtenção de resultados consistentes na análise das razões isotópicas (DUCATTI, 1977).

Para análise da razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, DUCATTI & MATSUI (1977), propuseram o emprego de uma linha de combustão (Figura 8), sob fluxo contínuo de oxigênio, para conversão da matéria orgânica em dióxido de carbono. Tal sistema foi modificado a partir do modelo original proposto por MOOK (1968).



FIGURA 8 - Linha de combustão de amostras orgânicas para análises de razão isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, por espectrometria de massas do CENA/USP

Nesta linha proposta por DUCATTI & MATSUI (1977), o processo de combustão ocorre em quatro etapas. Primeiramente purifica-se o oxigênio de um cilindro que será utilizado, porque qualquer contaminante proveniente do oxigênio é relevante e pode contribuir “mascarando” a composição dos gases liberados no processo de combustão, através de sua passagem por um tubo de quartzo contendo óxido de cobre granulado, aquecido por um forno de resistência elétrica a aproximadamente 800°C, sendo as impurezas retidas em um filtro.

A segunda etapa consiste na combustão propriamente dita, onde a amostra em questão é disposta no interior de outro tubo de quartzo, sofre combustão a 900°C. Utiliza-se, nesta etapa, óxido de cobre granulado, para oxidação completa dos gases produzidos.

A terceira etapa refere-se à purificação e retenção dos gases da amostra. O vapor d'água é retido em uma armadilha de vidro utilizando-se uma mistura criogênica de gelo seco e álcool, com temperatura de -72°C. Os halogêneos são retidos em tubo contendo prata aquecida a aproximadamente 470°C. O óxido de enxofre oxidado é retido em filtro de dióxido de manganês; e o dióxido de carbono proveniente da combustão da amostra é retido em uma armadilha de vidro refrigerada com nitrogênio líquido (-195,8°C).

A última etapa consiste na transferência do dióxido de carbono retido na armadilha de nitrogênio líquido, para um tanque de armazenamento e posteriormente, para um balão ou uma ampola de coleta, previamente limpos através de um sistema de vácuo e que permite a transferência da amostra gasosa para análise no espectômetro de massas.

É importante destacar que as três primeiras etapas do processo são conduzidas sob um fluxo contínuo de oxigênio, o qual flui vagarosamente e sua pressão é controlada através de manômetros. O processo de combustão, para determinação da razão isotópica, requer pequenas quantidade de amostra e ocorre em sistema fechado, que além de evitar a contaminação da amostra, evita danos ao meio ambiente e possível contaminação aos técnicos operadores do sistema (DUCATTI & MATSUI, 1977).

Na metodologia de Datação por ^{14}C , a atividade radioativa deste radionuclídeo é determinada, por exemplo, através de espectrômetro de cintilação líquida com baixo nível de radiação de fundo. Nesta metodologia, as amostras orgânicas ou inorgânicas são transformadas primeiramente em gases, que sintetizados em uma linha de combustão, são transformados em um líquido, o benzeno, que pode ser empregado no cintilador líquido.

Todo o procedimento de preparo de amostras é realizado em linha fechada (**Figura 9**), desde a combustão, passando por etapas físico/químicas de transformação do dióxido de carbono até a obtenção do benzeno como produto final.

TAMMERS em 1960, descreveu o primeiro método de síntese benzênica, onde o dióxido de carbono foi obtido através da combustão de amostras em sistema fechado, sob fluxo contínuo e controlado de oxigênio.



FIGURA 9 - Linha de Combustão e síntese benzênica de amostras destinadas a datação por ^{14}C do Laboratório do CENA/USP

Com objetivo de determinação da idade de formação do solo a diferentes profundidades a partir da superfície, VALÊNCIA (1993), utilizou um sistema de síntese de benzeno fechado e sob vácuo. Amostras de matéria orgânica total ou fração húmica extraídas do solo coletado sofreram combustão no interior de um tubo de quartzo aquecido a aproximadamente 700°C por um período de 60 minutos. Em uma extensão do mesmo tubo de quartzo, utilizou-se óxido de cobre e cromato de chumbo aquecidos a 650°C por outro forno para completar a reação de formação do

dióxido de carbono e minimizar a presença de compostos de enxofre e nitrogênio. Reteve-se o vapor d'água liberado em um recipiente de vidro ("trap") envolto por uma garrafa térmica contendo gelo seco e álcool etílico (-72°C). Coletou-se o dióxido de carbono produzido em um "trap" resfriado com nitrogênio líquido (-195,8°C). Após o término da combustão o dióxido de carbono foi descongelado e armazenado em tanques de vidro com capacidade de 10 litros. O processo foi monitorado através de manômetros. Alíquotas dos gases foram coletadas em ampolas de vidro adaptadas à linha de síntese de benzeno, para análise isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

LISI em 1995, através de um sistema similar ao utilizado por VALÊNCIA (1993), realizou a combustão de diversas amostras de colágeno extraído de ossos de animais. O objetivo da combustão era a obtenção do dióxido de carbono para síntese do benzeno e posterior datação por ^{14}C . No entanto, o dióxido de carbono resultante da combustão do colágeno apresentava-se contaminado com gases diversos, como óxidos de nitrogênio e enxofre, obrigando a implementação de adaptações na linha de combustão para purificação do dióxido de carbono e para retiradas de amostras (alíquotas) para avaliação cromatográfica da composição quali-quantitativa do gás produzido.

Para combustão de amostras de solo BONASSI (2000)⁴, utiliza, atualmente, fornos de resistência que variam de temperatura de trabalho da ordem de 600 a 1300°C. As amostras são acondicionadas em tubos de quartzo, onde ocorre a combustão, em sistema fechado, com fluxo de oxigênio purificado. Vidraria a base de borosilicato é utilizada para coletar e/ou

⁴ Comunicação Pessoal, José Aurélio Bonassi, técnico de Nível Superior da Seção de Isótopos Estáveis do CENA/USP – Piracicaba-SP. (2000).

armazenar as amostras de gases produzidos. Materiais sólidos (cinzas) resultantes da combustão, permanecem retidos no tubo de quartzo, podendo ser removidos com facilidade e posteriormente examinados.

4 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, procura-se fornecer subsídios para montagem e operação de um sistema de combustão, em escala laboratorial, para realização de ensaios com amostras de RSS. O presente trabalho descreve os principais sistemas de combustão utilizados em laboratório e propõe um sistema que permite realizar ensaios visando a determinação das condições ideais de combustão em função da composição da amostra utilizada e também avaliação de outros parâmetros que envolvem o processo, tais como: caracterização das cinzas, composição qualitativa e quantitativa dos gases produzidos e demais variáveis envolvidas.

Trata-se de um modelo básico, com as devidas adaptações, proposto a partir de sistemas de combustão já existentes e utilizados na combustão de amostras de interesse ambiental.

4.1 Aspectos Gerais

A metodologia para o desenvolvimento da presente pesquisa está baseada no levantamento bibliográfico e nas particularidades do sistema proposto, considerando os seguintes aspectos: (i) avaliação das características físicas e químicas, necessárias para o processo de combustão, dos resíduos de serviços de saúde; (ii) levantamento das normas legais que limitam e

controlam os processos de tratamento dos resíduos de serviços de saúde; (iii) relação dos procedimentos utilizados neste tratamento; (iv) configuração de incineradores de acordo com as normas específicas; (v) materiais incinerados e produtos liberados pela combustão.

Para apresentação de uma proposta de montagem e operação de um sistema de combustão, em escala laboratorial, e contribuir para o conhecimento desta tecnologia, fornecendo subsídios para o embasamento teórico e facilitando novas investigações sobre o tema, realizou-se: (i) um levantamento bibliográfico para os sistemas utilizados em escala laboratorial para as diversas finalidades de pesquisa; (ii) levantamento bibliográfico dos equipamentos utilizados nesta pesquisa, bem como, demais acessórios; (iii) acompanhamento do funcionamento de sistemas que apresentam características adequadas para a pesquisa proposta; (iv) reuniões técnicas envolvendo profissionais da área, abordando a viabilidade da adaptação de linhas de combustão para realização de ensaios com os RSS; (v) descrição de um sistema passível de implantação e utilização para ensaios de combustão com RSS.

As visitas foram realizadas nos laboratórios de Datação ^{14}C e Isótopos Estáveis em Estudos Ambientais, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, Piracicaba-SP, onde são empregadas metodologias de combustão para o preparo de amostras diversas, utilizadas em pesquisas na área de meio ambiente. Os sistemas utilizados na combustão e no processamento das amostras apresentam características que podem ser adaptadas, servindo como base para a confecção do sistema de combustão proposto pelo presente trabalho.

4.2 Descrição do Sistema de Combustão

O sistema de combustão proposto, apresentado na **Figura 10**, é constituído de:

- Dois fornos de resistência elétrica;
- Duas câmaras de combustão construídas de quartzo;
- Cilindro de oxigênio comercial;
- Cilindro de nitrogênio comercial;
- Dois tanques construídos de borossilicato (vidro) para armazenagem dos gases produzidos pela combustão;
- Termômetros para controle de temperatura das câmaras de combustão;
- Manômetros para controle de pressão;
- Um recipiente "trap" para coleta de umidade;
- Dois recipientes "traps" para coleta de gases;
- Bomba de vácuo;
- Dispositivo para retirada de amostras de gases de combustão;
- Conexões de quartzo, tubo de vidro e tubo flexível (tygon).

Essa constituição foi estudada e definida para realização de futuros ensaios de combustão com RSS. Este sistema foi também planejado para permitir modificações que se façam necessárias e que possam viabilizar a sua utilização em pesquisas com outros tipos de resíduos

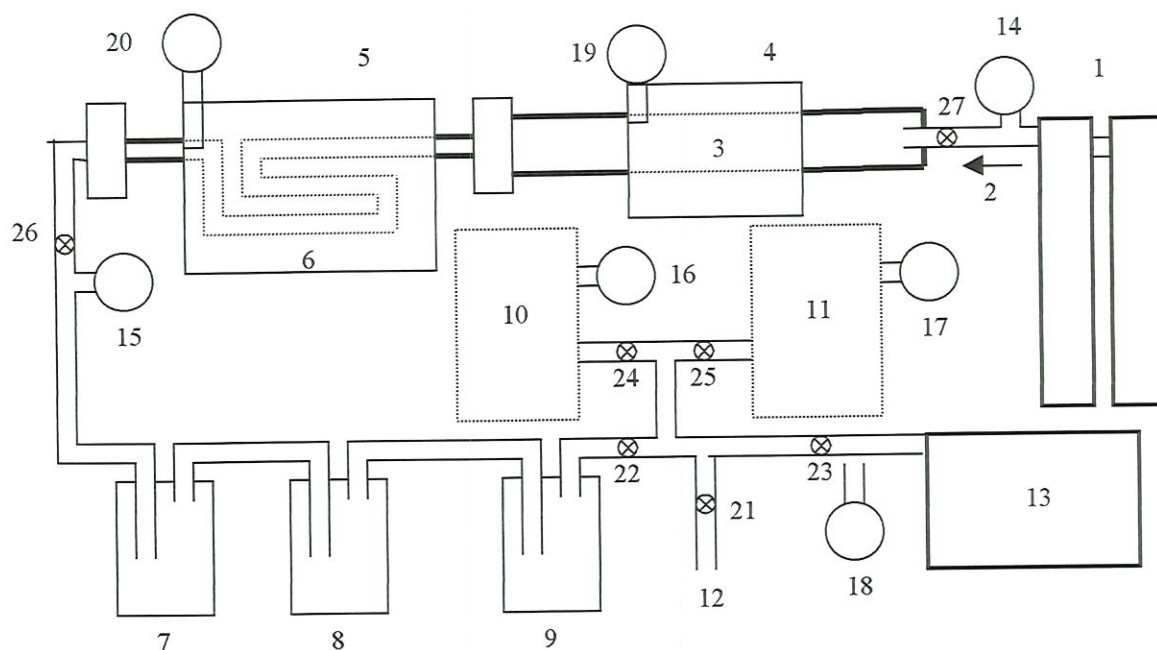


FIGURA 10 - Modelo esquemático do sistema de combustão proposto

Descrições:

- (1) Cilindros de gases, oxigênio e nitrogênio comercial, admitidos nas câmaras (1^a e 2^a);
- (2) Caminho de arraste dos gases;
- (3) Tubo de quartzo (câmara de combustão n° 1);
- (4) Forno de resistência para combustão n° 1 (temperatura de trabalho 800 a 900° C);
- (5) Forno de resistência para combustão n° 2 (temperatura de trabalho 1000 a 1300°C);
- (6) Serpentina de quartzo (câmara de combustão n° 2);
- (7) Coletor de vapor de água;
- (8) Primeiro coletor dos gases produzidos;
- (9) Segundo coletor dos gases produzidos;
- (10) Tanque n° 1 de armazenagem dos gases produzidos, capacidade 10 litros;
- (11) Tanque n° 2 de armazenagem dos gases produzidos, capacidade 10 litros;
- (12) Dispositivo de coleta dos gases produzidos;
- (13) Bomba de vácuo para descontaminação do sistema;
- (14) Manômetro de controle de injeção de O₂/N₂ para combustão;
- (15) Manômetro de controle de vazão dos gases produzidos;
- (16) Manômetro de controle de pressão dos gases no tanque n° 1;
- (17) Manômetro de controle de pressão dos gases no tanque n° 2;
- (18) Manômetro de controle de vácuo;
- (19) Temperatura da câmara de combustão n° 1 (interna e do forno);
- (20) Temperatura da câmara de combustão n° 2 (interna e do forno);
- (21) Torneira do dispositivo de coleta de amostra;
- (22) Torneira do controle de vazão;
- (23) Torneira do controle de vazão;
- (24) Torneira do tanque 1;
- (25) Torneira do tanque 2;
- (26) Torneira do controle de vazão;
- (27) Torneira do controle de vazão.

Este sistema de combustão é montado utilizando um suporte de aço do tipo grade, que proporciona uma base sólida, permitindo a disposição ideal dos diversos componentes e dispositivos descritos anteriormente, com características semelhantes às observadas na **Figura 8**.

Para a montagem dos componentes do sistema no suporte tipo grade são utilizadas garras de metal e bancadas para suporte das garrafas térmicas e dos fornos.

O sistema de combustão proposto deve possuir peças sobressalentes dos componentes de vidro e quartzo, para garantir uma seqüência analítica rotineira. São necessários os seguintes aparatos de laboratório:

- Pinças de diversos tamanhos com a finalidade de preparo das amostras e retirada de cinzas do interior da câmara de combustão;
- Lã de quartzo para fixar à amostra no interior da câmara de combustão ;
- Graxa de silicone para lubrificação de torneiras e conexões;
- Vidraria para preparo prévio das amostras no laboratório antes da combustão;
- Garrafa térmica para armazenagem de Nitrogênio líquido (dewar);
- Garrafa térmica para armazenagem de gelo seco (dewar);
- Reagentes químicos, para atender ao preparo das amostras antes da combustão, ou eventualmente após a combustão;
- Recipientes para armazenagem dos gases e cinzas gerados no processo de combustão, para posterior análise quali-quantitativa, conforme os

parâmetros preconizados na Norma CETESB E –15011 para os gases e a NBR – 10004 para as cinzas.

Equipamentos de segurança e proteção individual necessários:

- Luvas térmicas;
- Luvas de PVC ou outro material;
- Mascaras de proteção facial utilizada para montagem e desmontagem da câmara de combustão constituída de quartzo;
- Óculos de segurança;
- Extintores de incêndio em local de fácil acesso e adequados aos produtos de combustão.

O emprego dos gases oxigênio e nitrogênio permite estabelecer características gasosas, em termos de proporções, semelhantes às atmosféricas utilizadas nos incineradores convencionais. O controle dessas proporções é realizado com o uso de válvulas e medidores de vazão acoplados aos dispositivos de entrada, **Figura 10** ítem 14, desses gases na linha de combustão. O sistema de combustão permite, ainda, simulações com ar direto do ambiente. No entanto, testes iniciais são necessários para a otimização dessas condições.

As amostras de RSS são admitidas ao sistema de combustão, acondicionadas em uma “barca de quartzo” (dispositivo construído com a metade longitudinal de um tubo de quartzo, fechado nas extremidades) conforme **Figura 11**. Esta "barca" possui um cabo que termina com um imã

fechado no interior de um pequeno cilindro também de quartzo, para evitar a contaminação dos gases, e que possibilita a locomoção de forma gradativa e controlada da amostra para o interior do primeiro forno de combustão.

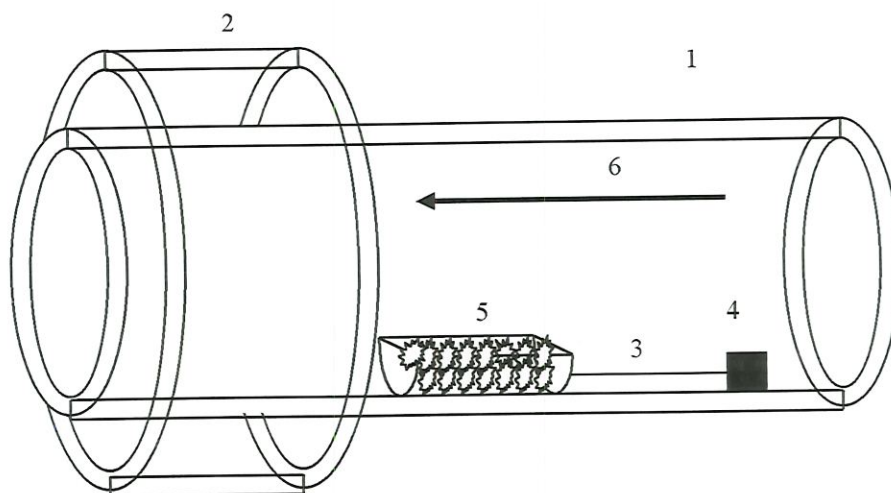


FIGURA 11 - Detalhamento do dispositivo proposto para combustão das amostras

Descrições:

1. tubo de quartzo (**Figura 10** ítem 3);
2. Câmara de combustão (**Figura 10** ítem 4);
3. Barca de quartzo para disposição das amostras (Utilizada para dispor a amostra no interior da câmara de combustão (**Figura 10** ítem 3);
4. Ímã para a movimentação da barca de quartzo;
5. Amostra a ser estudada;
6. Sentido do movimento.

4.3 Operação do Sistema de Combustão

O procedimento de operação do sistema de combustão é realizado através das etapas descritas a seguir.

4.3.1 Amostras

Nos experimentos com o sistema de combustão proposto são utilizadas amostras dos materiais que compõem os RSS, não devendo estes, necessariamente, estarem contaminados para evitar riscos de infecção e facilitar o manuseio no laboratório.

A quantidade utilizada depende das características físico – químicas, necessárias para combustão, apresentadas pela mesma. Recomenda-se a utilização de uma quantidade de amostra, calculada estequiometricamente, que seja suficiente para avaliar o processo de combustão através dos efluentes liberados, não proporcionando volumes de gases que ultrapassem as características de armazenamento. Para a linha de combustão proposta, o volume de armazenamento é de aproximadamente 20 litros.

4.3.2 Combustão das amostras

As condições de operação nos equipamentos existentes no CENA seguem este padrão: após a devida disposição das amostras no interior do tubo de quartzo, o sistema é fechado e promove-se vácuo até aproximadamente -1,0 atmosfera. Este procedimento é necessário para evitar contaminação dos gases a serem produzidos. A seguir, o fluxo dos gases é acionado e devidamente regulado (excedente de 7% v/v de oxigênio na saída da última câmara), sendo os fornos de combustão ligados para promover o aquecimento quando atingidas as temperaturas ideais de combustão: forno nº 1 a 800°C e forno nº 2 superior a 1000°C, conforme a Norma CETESB E – 15011. A amostra então é colocada em contato com o forno nº 1, através do deslocamento do tubo de quartzo, para promover a combustão. Nesta fase, a

variação da temperatura interna deve ser cuidadosamente controlada evitando-se variações fora das faixas de temperatura anteriormente, indicadas.

A umidade liberada na combustão é retida em um recipiente "trap" (armadilha), envolto por um "dewar" (garrafa térmica) contendo gelo seco e álcool numa temperatura de -72°C , enquanto que os gases são coletados (congelados) em dois recipientes "traps", envoltos por garrafas térmicas, contendo nitrogênio líquido a uma temperatura de $-195,8^{\circ}\text{C}$.

O escoamento dos gases assim como a pressão e a temperatura das câmaras são monitorados através de válvulas, manômetros e termômetros, conectados no sistema de combustão.

Após a conclusão do processo de combustão, observada através do decaimento da pressão no manômetro, é procedido a "manobra" nas torneiras que controlam a vazão, de maneira que o gás produzido seja descongelado e armazenado nos tanques, conforme procedimento a seguir:

- Abrir as torneiras (22) ,(24) e (25) **Figura 10**;
- Retirar os dewars de nitrogênio líquido dos traps (8) e (9) **Figura 10**. Tal procedimento provocará uma diferença de pressão, obrigando os gases que estão congelados, no interior dos traps, ocupar os tanques (10) e (11) **Figura 10**. O final deste processo é observado através da estabilização dos manômetros que controlam a pressão dos tanques.

4.4 Controle de Qualidade

A linha de combustão proposta prevê um sistema onde é possível coletar alíquota dos gases na saída da primeira e última câmaras e também dos

resíduos sólidos (escórias) gerados na combustão.

A partir das amostras coletadas, pode-se efetuar um estudo para avaliar as condições de operação do sistema de combustão, de acordo com as técnicas analíticas e os parâmetros previamente estabelecidos na Norma CETESB E-15011 e que são os seguintes: NO_x, SO_x, CO, HCl, HF, Pb, Cr, Cd, Fe, Ni, Mg, material particulado, Dioxinas e Furanos.

4.4.1 Procedimentos para amostragem

a) amostragem das cinzas

Após a combustão, toda escória fica retida no tubo de quartzo, onde esquematicamente é mostrado na **Figura 11**, item 5. Para retirada de amostras, desconectar o tubo de quartzo na extremidade do forno nº 1, item 4 da **Figura 10** com utilização de uma espátula e, em seguida, armazenar em recipientes para posterior análise segundo NBR-10004 (1987).

b) amostragem dos gases

Após a combustão, os gases devem ser armazenados nos tanques, conforme proposto na **Figura 10**, item 10 e 11. Para retirada de amostras, proceder da seguinte maneira:

- Fechar as torneiras (22) e (23) da **Figura 10**;
- Abrir as torneiras (21), (24) e (25) da **Figura 10**;
- Provocar no dispositivo de coleta (**Figura 10**, item 12), uma diferença de pressão com o auxílio de nitrogênio líquido contido em uma garrafa

térmica. Após este procedimento, fechar as torneiras (21), (24) e (25) permitindo que uma alíquota do gás produzido fique aprisionada no dispositivo de coleta.

Para execução de análises cromatográficas, recomenda-se amostradores (ampolas) compatíveis com a configuração do equipamento a ser utilizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo abordar as principais variáveis que envolvem o processo de tratamento térmico dos RSS, descrevendo os principais modelos de sistemas de combustão utilizados em laboratório, para realização de ensaios. É esboçado por, este trabalho, um modelo de sistema de tratamento térmico que poderá ser utilizado para ensaios com RSS e, através de adaptações, poderá ser empregado em pesquisas com a finalidade de estudar outros tipos de resíduos, variando: composição da amostra, temperatura de combustão, composição dos gases utilizados, tempo de detenção nas câmaras ou outras características em função do objetivo da pesquisa.

Conforme abordado, a incineração é, atualmente, a tecnologia mais utilizada no tratamento dos RSS. Contudo, através da literatura consultada, conclui-se que a maioria dos incineradores existentes em operação, não possuem sistemas de controle de poluição.

É consenso entre as autoridades a necessidade de buscar novas alternativas dentro do tratamento de resíduos, e otimizar os processos já existentes com o objetivo de melhorar a eficiência e minimizar o impacto causado ao meio ambiente.

Consequentemente, existe uma tendência de aumento dos custos envolvidos no gerenciamento de resíduos, especialmente no que diz respeito

ao tratamento e disposição final, que deverão atender aos padrões de qualidade ambiental, cada vez mais rígidos impostos através de normas e legislações.

Apesar da grande polêmica em torno da incineração como processo indicado para o tratamento de resíduos e da necessidade de um monitoramento mais efetivo, esta tecnologia está sendo amplamente utilizada.

A utilização de sistemas de combustão em escala laboratorial, para determinar as condições de incineração e dimensionar os impactos ambientais associados ainda é pequena. No entanto, a utilização desta tecnologia, em virtude da eficiência apresentada no tratamento final dos resíduos industriais e, principalmente, dos RSS, tende a aumentar.

Ao iniciar a revisão bibliográfica do presente trabalho, foi possível observar, sob vários aspectos, a carência de informações a respeito de estudos experimentais com RSS, utilizando combustão de amostras em laboratório, indicando a necessidade da realização de pesquisas com esta finalidade.

Os modelos de sistemas de combustão utilizados em laboratórios pelos autores MOOK (1968), DUCATTI & MATSUI (1977), VALÊNCIA (1993), GUPTA et al. (1994), LISI (1995), abordados na revisão bibliográfica, são constituídos de equipamentos e aparatos já utilizados rotineiramente em laboratórios de pesquisa, o que facilita a montagem e confecção das linhas. O custo para aquisição de tais equipamentos poderá ser subsidiado através de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

A unidade para realização dos experimentos deve compor basicamente as seguintes áreas de apoio e considerar os seguintes aspectos:

- a) Local adequado para instalação da linha de combustão;

- b) Pessoal treinado para confeccionar, instalar, operar e efetuar manutenções no sistema de combustão;
- c) Local adequado para manipulação, preparação e armazenamento de amostras;
- d) Convênios com departamentos e instituições para execução dos ensaios físico-químicos e cromatográficos, utilizados na avaliação do processo de combustão.

As atividades desenvolvidas no laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP utilizando linhas de combustão, demonstram claramente que é possível avaliar, através de ensaios de combustão, os parâmetros controlados pela CETESB. Desta forma, os experimentos de laboratório poderão contribuir de maneira significativa para a determinação das condições ideais da operação de processos de combustão, bem como quantificar o impacto causado pela liberação de poluentes, em função do resíduo incinerado. O Centro dispõe, também, de uma estrutura própria que possibilita a confecção, operação e manutenção das linhas, podendo contribuir de maneira significativa no desenvolvimento de novos projetos de pesquisa.

6 RECOMENDAÇÕES

Para implementação do sistema de combustão proposto recomenda-se:

- Identificar previamente o tipo e a composição do resíduo a ser estudado de resíduo a ser estudado, bem como as condições ideais de operação.
- Estabelecer os parâmetros ideais para a operação do sistema de combustão dos resíduos com base nas condições utilizadas em sistemas de incineração convencionais.
- Avaliar os dispositivos para coleta e armazenamento das amostras, assim como, os parâmetros específicos utilizados no processo a ser estudado. Esses fatores são de fundamental importância e devem ser considerados.
- Estabelecer convênios com instituições e centros de pesquisa que realizam estudos nesta área, visando a troca de informações e tecnologias.

- Elaboração de projetos de pesquisas onde, além dos recursos necessários para o seu desenvolvimento, esteja igualmente previsto o suporte analítico, através de análises cromatográficas e físico-químicas.

- Realizar treinamento dos operadores que irão atuar junto ao sistema de combustão e que deverão atender as seguintes necessidades básicas: conhecimento dos princípios de vácuo; conhecimento do funcionamento de um sistema de combustão; preparo para manuseio de reagentes químicos; preparo para trabalho com vidrarias de laboratório; conhecimento das normas de segurança de laboratório.

ANEXOS

ANEXO I

GABINETE DO SECRETÁRIO

Resolução Conjunta SS/SMA-I, DE 02/05/96

Os Secretários do Estado da Saúde e do Meio Ambiente, considerando:

a responsabilidade constitucional que impõe ao Estado o dever de zelar pela salvaguarda as saúde publica e do meio ambiente;

o disposto na Resolução CONAMA 5, de 05-08-93, que define os procedimentos básicos relativos ao gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários;

a necessidade de se promover a integração ente as entidades públicas no que diz respeito à gestão institucional da questão dos resíduos sólidos de serviços de saúde;

a necessidade de definir normas estaduais que disciplinam as ações de controle relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde, desde o manejo interno no estabelecimento no gerador até o destino final; resolvem:

Artigo 1º.- Fica aprovada a Instrução Normativa referente aos resíduos sólidos de serviços de saúde, que faz parte integrante desta resolução.

Artigo 2º.-O não cumprimento do disposto na Instrução Normativa sujeitará os infratores as penalidade previstas nas legislações específicas dos órgãos fiscalizadores, conforme estabelecido no inciso II da referida Instrução.

Artigo 3º.-Esta resolução conjunta entrará em vigor na data de sua publicação.

ANEXO

INSTRUÇÃO NORMATIVA QUE DISPÕE SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

I. Esta Instrução Normativa se aplica aos serviços de saúde discriminados a seguir:

- a) serviços de saúde médicos, odontológicos e veterinários;
- b) farmácias;
- c) laboratórios de análises clínicas e patológicas.

I.1. Outros serviços congêneres poderão ficar submetidos ao disposto nesta Instrução Normativa, a critério da autoridade sanitária.

I.2. Ficam desobrigados de atender ao disposto nesta Instrução Normativa os estabelecimentos referidos ao "caput" deste inciso que não gerem resíduos sólidos infectantes e/ou especiais, conforme classificação das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

II. As ações decorrentes desta Instrução Normativa serão realizadas de forma integrada pela Secretária de estado da saúde e Secretaria de Estado do meio ambiente, através de seus órgãos competentes, bem como de outras entidades da administração pública.

II.1. À Secretaria de estado de saúde cabe, através da Vigilância Sanitária, a definição de normas, a orientação e fiscalização do gerenciamento os resíduos sólidos , desde sua geração nos estabelecimentos referidos no inciso I até a destinação final, objetivando a proteção e a preservação da saúde pública, nesta incluindo os aspectos relativos a saúde do trabalhador.

II.2. À Secretaria de Estado do Meio Ambiente cabe a análise de viabilidade tecnológica e locacional proposta para o sistema de tratamento e disposição dos resíduos sólidos, bem como a avaliação quanto a necessidade da elaboração de estudo de Impacto Ambiental e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA. No caso de exigência de apresentação de Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA será feita a sua análise e, em caso de parecer favorável, o processo será encaminhado ao CONSEMA.

II.3. À Companhia de Tecnologia e saneamento Ambiental – CETESB compete licenciar e fiscalizar o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos, bem como orientar e estabelecer normas tendo em vista o controle de poluição ambiental.

III. Os estabelecimentos discriminados no inciso I são responsáveis pelo correto gerenciamento dos resíduos sólidos gerados por suas atividades, desde a origem até o destino final.

III.1. O Poder Público poderá, a seu critério, coordenar integrar as ações relativas à coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de serviços de saúde, devendo atender ao disposto nesta Instrução Normativa.

III.2. as entidades prestadoras de serviços, sejam públicas ou privadas, que executem no todo ou em parte o processo de manejo dos resíduos sólidos, são responsáveis pelo cumprimento do disposto nesta Instrução Normativa, no que se refere à parcela do serviço que realiza.

IV. para efeito desta Instrução Normativa, torna-se obrigatório a aplicação das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT pertinentes.

V. De acordo com o porte e a complexidade do estabelecimento prestador de serviço de saúde, as Secretarias de Estado da Saúde e Meio Ambiente, através de seus setores competentes, poderão exigir informações e estudos mais abrangentes, consubstanciados em um Pano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, envolvendo a geração, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento e disposição final dos resíduos gerados incluindo aspectos referentes à minimização de resíduos e proteção à saúde pública.

VI. Os resíduos sólidos infectantes deverão ser adequadamente coletados e transportados em veículos apropriados para tal fim, devendo obedecer a normatização técnica específica, visando a apresentação da saúde pública e do trabalho, bem como o controle da poluição ambiental.

VI.1. Os resíduos sólidos infectantes deverão permanecer devidamente acondicionados durante todas as fases de coleta e transporte, garantindo-se o não rompimento das embalagens utilizadas.

VI.2. O transporte dos resíduos sólidos infectantes deverá ser feito em veículos ou compartimentos exclusivos, não sendo permitido seu transporte conjunto com pessoas ou outros tipos de resíduos, materiais ou substâncias.

VI.3. A fiscalização dos veículos coletores e transportadores de resíduos sólidos infectantes e especiais, estará a cargo dos órgãos competentes de acordo com a legislação pertinente.

VI.4. Enquanto não se dispuser de especificações detalhadas sobre as condições e características dos veículos transportadores de resíduos sólidos infectantes, deverá ser obedecido o disposto nas normas da ABNT.

VII. Os demais tipos de resíduos sólidos - especiais e comuns - gerados nos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde deverão ser transportados convenientemente, de acordo com suas características, atendendo a normatização técnica e legislação específica.

VII.1. Os resíduos sólidos classificados como comuns poderão ser transportados pelos veículos utilizados no serviço de coleta domiciliar, de acordo com os critérios definidos pelo Poder Público Municipal.

VIII. As operações de transbordo de resíduos sólidos infectantes e especiais deverão ser realizadas em instalações adequadas, garantindo a inviolabilidade das embalagens, a segurança do trabalhador envolvido e a preservação do meio ambiente.

IX. A implantação do tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos, dependerá da apresentação de projeto para análise, aprovação e licenciamento pela CETESB, conforme estabelecido na Lei 997/76.

IX.1. A Vigilância sanitária emitirá alvará de utilização das instalações de apoio vinculadas às unidades de transbordo, reciclagem, tratamento e disposição de resíduos sólidos, de acordo com as normas de procedimentos existentes naquele órgão. Entende-se como instalações de apoio toda a edificação, executados os equipamentos.

IX.2. Os resíduos sólidos infectantes, mesmo tratados, não poderão ser encaminhados a usinas de compostagem de resíduos sólidos.

IX.3. O tratamento dos rejeitados radioativos, bem como a sua destinação final, estão sujeitos à aprovação da Comissão Nacional de energia Nuclear - CNEN.

X. A reciclagem envolvendo a reutilização ou recuperação de resíduos sólidos deverá ser comunicada à Vigilância Sanitária, que fará a avaliação do processo, sendo proibida a reciclagem dos resíduos sólidos classificados como infectantes, mesmo que tenham passado por processo de tratamento.

XI. As peças anatômicas humanas serão objeto de tratamento especial, conforme discriminado a seguir:

- a) quando não reconhecíveis, poderão ser embaladas e tratadas em conjunto com os demais resíduos sólidos classificados como infectantes;
- b) quando reconhecíveis, deverão ser identificadas, embaladas em separado em saco plástico duplo e enviadas para sepultamento, ou transportadas em separado para serem submetidas a tratamento ou destinação final adequada, juntamente com os demais resíduos classificados como infectantes.

XII. As entidades prestadoras de serviço, sejam públicas ou privadas, que executem ao todo ou em parte o processo de manejo dos resíduos sólidos, desde a geração até o tratamento e/ou destinação final, deverão possuir um responsável técnico devidamente qualificado para o serviço prestado.

XII.1. No caso de estabelecimentos geradores de resíduos sólidos, o responsável técnico pelo estabelecimento também responde pelo gerenciamento dos resíduos.

XII.2. Os responsáveis pelo serviço de gerenciamento de resíduos deverão submeter os funcionários envolvidos com os procedimentos de manuseio, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e/ou destinação final, a programas de treinamento em nível de integração e reciclagem.

ANEXO II

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 05 – DE 05/08/93

LIXO OU RESÍDUOS SÓLIDOS

Dispõe sobre os procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos, com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, revoga os itens I, V, VI, VII e VIII, da Portaria MINTER n. 13, de 1º De março de 1979.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIOAMBIENTE RESOLUÇÃO Nº 05 – DE AGOSTO DE 1993

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das atribuições previstas na Lei n. 6938 de agosto de 1981, alterada pelas leis n.99.274, de 6 de julho de 1990, e no regimento Interno aprovado pela Resolução CONAMA N. 25, de 3 de Dezembro de 1986.

Considerando a determinação contida no artigo 3º. Da Resolução CONAMA N. 6, de 19 setembro de 1991, relativa a definição de normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, bem como a necessidade de estender tais exigências aos terminais ferroviários e aeroviários;

Considerando a necessidade de definir procedimentos mínimos para o gerenciamento desses resíduos, com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente; e

Considerando, finalmente, que as ações preventivas são menos onerosas e minimizam os danos à saúde pública e ao meio ambiente resolve:

Artigo 1º Para efeitos desta resolução definem-se:

I – Resíduos Sólidos: conforme a NBR N. 10.004, da associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Resíduos nos Estados sólidos e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de variação. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível;

II – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: documento integrante do processo de licenciamento ambiental, que aponta e descreve as ações relativas ao manejo de resíduos sólidos, no âmbito dos estabelecimentos mencionados no artigo 2º. Desta Resolução, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como a proteção à saúde pública;

III – Sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos: conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos e conduzem à minimização do risco à saúde pública e a qualidade do meio ambiente;

IV – Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos: Conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos no solo, garantindo –se a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente;

Artigo 2º. Esta resolução aplica-se aos resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e estabelecimentos prestados de serviços de saúde.

Artigo 3º. Para efeitos desta resolução, os resíduos sólidos gerados nos estabelecimentos, a que se refere o artigo 2º, são classificados de acordo com o anexo desta resolução.

Artigo 4º. Caberá aos estabelecimentos já referidos o gerenciamento de seus resíduos sólidos, desde a geração até a disposição final, de forma a atender aos requisitos ambientais e de saúde pública.

Artigo 5º. A administração dos estabelecimentos citados no artigo 2º, em operação ou a serem implantados, deverá apresentar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, a ser submetido à aprovação pelos órgãos de meio ambiente e de saúde, dentro de suas respectivas esferas de competência, de acordo com a legislação vigente.

§1º. Na elaboração de Plano de gerenciamento de Resíduos Sólidos, devem ser considerados princípios que conduzam à reciclagem, bem como a soluções integradas ou consorciadas, para os sistemas de tratamento e disposição final, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelos órgãos de meio ambiente e de saúde componentes.

§2º. Os órgãos de meio ambiente e de saúde definirão em conjunto, critérios para determinar quais os estabelecimentos estão obrigados a apresentar o plano requerido neste artigo.

§3º. Os órgãos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, definirão e estabelecerão, em suas respectivas esferas de competência, os meios e os procedimentos operacionais a serem utilizados para o adequado gerenciamento dos resíduos a que se refere a essa Resolução.

Artigo 6º. Os estabelecimentos listados no artigo 2º. Terão um responsável técnico, devidamente registrado em conselho profissional, para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em decorrência de suas atividades.

Artigo 7º. Os resíduos sólidos serão acondicionados adequadamente, atendendo às normas aplicáveis da ABNT e demais disposições legais vigentes.

§1º. Os resíduos sólidos pertencentes ao grupo “A” do anexo I desta Resolução, serão acondicionados em sacos plásticos com a simbologia de substância infectante.

§2º. Havendo, dentre os resíduos mencionados no parágrafo anterior, outros perfurantes ou cortantes, estes serão acondicionados previamente em recipiente rígido, estanque, vedado e identificado pela simbologia de substância infectante.

Artigo 8º. O transporte dos resíduos sólidos, objeto desta Resolução, será feito em veículos apropriados, compatíveis com as características dos resíduos, atendendo às condicionantes de proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

Artigo 9º. A implantação de sistemas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos fica condicionada ao licenciamento, pelo órgão ambiental competente em conformidade com as normas em vigor.

Artigo 10. Os resíduos sólidos pertencentes ao grupo “A” não poderão ser dispostos no meio ambiente sem tratamento prévio que assegure:

- a) a eliminação das características de periculosidade do resíduo;
- b) a preservação dos recursos naturais; e
- c) o atendimento aos padrões de qualidade ambiental e de saúde pública

Artigo 21. Aos órgãos de controle ambiental e de saúde competentes, normalmente partícipes do Sistema Nacional do Meio Ambiente- SISNAMA, incumbe a aplicação na legislação pertinente, inclusive a medida de interdição de atividades.

Artigo 22. Os órgãos estaduais do meio ambiente com a participação das Secretarias estaduais de Saúde e demais instituições interessadas, inclusive organizações não governamentais, coordenarão programas, objetivando a aplicação desta Resolução e garantir o seu integral cumprimento.

Artigo 23. Esta resolução entra em vigor na data de sua publicação

Artigo 24. revogaram-se as disposições em contrário, especialmente os itens I,V,VI,VII e VIII, da Portaria MINTER n. 13, de 1 de março de 1979 – Humberto Cavalcante Lacerda, Secretário Executivo em exercício, Fernando Coutinho Jorge, Presidente.

ANEXO À RESOLUÇÃO Nº 5, DE 5 DE AGOSTO DE 1993 **Classificação dos Resíduos Sólidos**

Grupo A: resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido à presença de agentes biológicos.

Enquadram-se neste grupo, dentre outros: sangue e hemoderivados; animais usados em experimentação, bem como os materiais que tenham entrado em contato com os mesmos, excreções, secreções e líquidos orgânicos; meios de cultura; tecidos, órgãos, fetos e peças anatômicas, filtros de gases aspirados de área contaminada, resíduos advindos de área de isolamento; restos alimentares de unidade de atendimento ambulatorial; resíduos de sanitários de unidade de internação e de enfermaria e animais mortos a bordo dos meios de transporte, objeto desta resolução.

Neste grupo incluem-se, dentre outros, os objetos perfurantes ou cortantes, capazes de causar punctura ou corte, tais como lâminas de barbear, bisturi, agulhas, escalpes, vidros quebrados, etc. provenientes de estabelecimentos prestados de serviço de saúde.

Grupo B: resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido às suas características.

Enquadram-se neste grupo, dentre outros:

- a) drogas quimioterápicas e produtos por ela contaminados;
- b) resíduos farmacêuticos (medicamentos vencidos, contaminados, interditados ou não-utilizados); e
- c) demais produtos considerados perigosos, conforme classificação na NBR 10004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).

Grupo C: rejeitos radioativos: enquadram-se neste grupo os materiais radioativos : enquadram-se neste grupo os materiais radioativos ou contaminados com radionuclídeos provenientes de laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia, segundo Resolução CNEM 6.05.

Grupo D: resíduos comuns são todos os demais que não se enquadram nos grupos descritos anteriormente.

(D.O. de 31 de agosto de 1993, pág.12.996 a 12.998).

ANEXO III

Norma CETESB E-15011 (Revisão de Fev/97)

SISTEMA DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

PROCEDIMENTO

SUMÁRIO

1. Objetivo
2. Documentos Complementares
3. Definições
4. Condições Gerais
5. Inspeção
6. Aceitação/Rejeição

1. OBJETIVO

- 1.1. Esta norma fixa condições exigíveis para aceitação de um sistema de incineração de resíduos infectantes provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde.
- 1.2. Não faz parte da abrangência desta norma fixar procedimentos para prevenção de acidentes de trabalho, doenças ocupacionais, etc. As exigências que esta norma faz com relação a prevenção devem ser consideradas como exigências mínimas.

2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

a) as Normas CETESB

- L9.213 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Fluoretos Método do eletrodo de íon Específico. (set/95)
- L9.221 – Dutos e Chaminés de fontes Estacionárias – Determinação dos Pontos de Amostragem – Procedimento (julho/ 90)
- L9.222 – Dutos e Chaminés de fontes Estacionárias – Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases – Método de Ensaio (maio/92)
- L9.223 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação da Massa Molecular Seca e do Excesso de Ar do Fluxo Gasoso – Método de ensaio (junho/92)
- L9.224 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação da Umidade dos Efluentes – Método de ensaio (agosto/ 93)
- L9.225 – Dutos e Chaminés de fontes Estacionárias – Determinação de Material Particulado (março/95)
- L9.228 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Dióxido de Enxofre e de Névoas de Ácido Sulfúrico (junho/92)
- L9.229 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Óxidos de Nitrogênio (outubro/ 92)

- L9.231 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Cloro Livre e Ácido Clorídrico (maio/ 94)
- E16.030 – Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Calibração dos Equipamentos Utilizados na Amostragem de Efluentes – Método de Ensaio (maio/91)
- L5.105 – Água: Determinação de Bário; Método da Espectrofotometria de Absorção Atômica (1989)
- L5.111 – Águas: Determinação de Chumbo; Método da Espectrofotometria de Absorção Atômica (1989)
- L5.116 – Água: Determinação de Cobre; Método de Espectrofotometria de Absorção Atômica (1989)
- L5.134 – Água: Determinação de Mercúrio Total; Método da Espectrofotometria Absorção Atômica (1989)
- L5.160 – Águas: Determinação de Cádmiio; Método da Espectrofotometria de Absorção Atômica (1989)
- L5.193 – Água: Determinação de Cromo; Método da Espectrofotometria de Absorção Atômica (1990)

b) as Normas ABNT

- NBR 7.5000 – Símbolo de Risco e Manuseio para o Transporte e Armazenamento de material (1994)
- NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação (1987)
- NBR 10.005 – Lixiviação de resíduos – Procedimento
- NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos – Procedimento
- NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos (1987) – Procedimento
- NBR 10.664 – Águas – Determinação de Resíduos (Sólidos) – Métodos Gravimétrico
- NBR 12.807 – Resíduos de Serviços de Saúde – Terminologia
- NBR 12808 – Resíduos de Serviços de Saúde – Classificação

c) os Métodos da EPA

- Method 23 – Determination of Polychlorinated Dibenzo-p Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurants from Stationary Sources
- Method 0050 (EPA) – Isokinetic HCl/Cl₂ Emission Sampling Train
- Method 0051 (EPA) – Midget Impinger HCl/Cl₂ Emission Sampling Train
- Method 101 (EPA) – Determination of Particulate Gaseous Mercury Emissions from Chlor – Alkali Plants – Air Streams.
- Method 101-A (EPA) – Determination of Particulate Gaseous Mercury Emissions From Sewage Sludge Incinerators.
- Method 501.2 – The Analysis of Trihalomethanes in Drinking Water by Liquid/Liquid Extration
- Method 3050 – Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils

- Method 7471 – Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold – Vapor Technique)
- Multi metals – Methodology for the Determination of Metals Emissions in Exhaust Gases from Hazardous Waste Incineration and Similar Combustion Processes (EPA)

3. DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de 3.1 a 3.8.

3.1. Incineração

Processo de oxidação a alta temperatura com transformação de materiais, redução de volume e destruição de organismos.

3.2. Sistema de Incineração

Conjunto de recursos e instalações necessárias para a operação de incineração num mesmo local. Um sistema pode conter um ou mais incineradores.

3.3 Plano de teste de queima

Descrição detalhada de um conjunto de operações que devem ser executadas durante o teste, objetivando a avaliação do desempenho do incinerador nas condições preestabelecidas.

3.4. Teste de Queima

Queima experimental para verificar o atendimento aos padrões de desempenho estabelecido nesta Norma.

3.5. Limite de Emissão

Conteúdo máximo, expresso em concentração (massa/ volume) e/ou em taxa de emissão (massa/tempo), de uma substância (gasosa, líquida ou sólida) nos efluentes de uma fonte de emissão.

3.6. Resíduo Infectante

Resíduo que, por suas características de maior virulência, infectividade e concentração de patógenos e/ou suas toxinas, apresenta risco potencial adicional à saúde pública.

3.7. Resíduo de Serviço de Saúde

Resíduo resultante de atividades por estabelecimento prestador de serviço de saúde.

3.8. Capacidade do Sistema de Incineração

Somatório das capacidades individuais de todos os incineradores instalados no mesmo sistema.

4. CONDIÇÕES GERAIS

4.1. Projeto, materiais e operação

O projeto do sistema, os materiais utilizados em sua construção e sua operação devem ser adequados ao tipo de serviço (incineração de resíduos de serviços de saúde).

4.2. Equipamentos de incineração ou simplesmente incinerador

- 4.2.1. Deve Ter no mínimo 2 câmaras de combustão e ser projetado para trabalhar com excesso de ar, de modo a garantir a queima completa da parte combustível dos resíduos.
- 4.2.2. Deve ser provido de monitores contínuos, indicadores e registradores das condições de operação, conforme Tabelas 2 e 3.
 - 4.2.2.1. A CETESB poderá a seu critério, exigir o uso de outros indicadores e registradores, bem como estabelecer exigências específicas caso a caso.
 - 4.2.2.2. Todos os instrumentos de monitoramento devem ser periodicamente aferidos. Os relatórios de aferição deverão ser arquivados durante 3 anos e junto a cada monitor deve constar a data da última aferição e data da próxima.
- 4.2.3. Deve ser provido de mecanismos automáticos de intertravamento que bloqueiam a alimentação em incineradores de alimentação contínua quando ocorrer uma das seguintes situações:
 - a) Baixa temperatura nas câmaras;
 - b) Ausência de chama em qualquer queimador;
 - c) Pressão relativa positiva nas câmaras de combustão;
 - d) Falta de energia ou queda brusca da tensão;
 - e) Valores de CO entre 125 e 625 mg/Nm³ por mais de 10 minutos;
 - f) Valores de CO superiores a 625 mg/Nm³, em qualquer instante.
- 4.2.4. Deve ser suspensa a alimentação de resíduos em incineradores por batelada quando se verificar uma das seguintes situações:

- a) Baixa temperatura nas câmaras;
- b) Ausência de chama em qualquer queimador;
- c) Pressão relativa positiva nas câmaras de combustão;
- d) Falta de energia ou queda brusca de tensão;
- e) Valores de CO entre 125 e 625 mg/Nm³ por mais de 10 minutos;
- f) Valores de CO superiores a 625 mg/Nm³, em qualquer instante.

NOTA: A alimentação somente poderá ser retomada quando o incinerador voltar as condições normais de operação.

4.3. Local de estocagem dos resíduos

- 4.3.1. Deve ser uma área coberta e com fechamento lateral, de modo a evitar a entrada de água, constituindo-se numa dependência de uso para a estocagem de resíduos.
- 4.3.2. Deve ser construído em alvenaria, revestido internamente (piso e parede) com material liso e resistente à abrasão, lavável, impermeável e de cor branca.
- 4.3.3. Sua colocação deve ser tal que permita facilidade de acesso e operação de carga e descarga.
- 4.3.4. Deve possuir símbolo de identificação de substância infectante de acordo com a NBR-7500, aposto em local de fácil visualização.
- 4.3.5. Deve ser dimensionado de forma a comportar resíduos em quantidade equivalente, no mínimo, ao dobro da capacidade nominal diária de incineração.

4.4. Transporte interno dos resíduos

A instalação deve possuir um sistema adequado de coleta e transporte para levar os resíduos deste local de estocagem até o ponto de alimentação do incinerador.

4.5. Equipamentos de controle de poluição

Deve ser provido de tantos equipamentos de controle quantos necessários para satisfazer aos limites de emissão exigidos no item 5 desta norma e aos demais padrões exigidos na legislação vigente.

4.6. Registro de operação

- 4.6.1. Deve ser mantido o registro dos dados de operação do sistema
- 4.6.2. Devem ser registradas diariamente, no mínimo, as seguintes informações:
 - a) peso dos resíduos recebidos e origem;
 - b) os parâmetros previstos no item 4.2.2;
 - c) consumo de combustível auxiliar;

- d) peso das cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos e material particulado proveniente do ECP (ar);
- e) incidentes operacionais.

4.6.3. O tempo mínimo de arquivamento dos registros é de três anos.

4.7. Tratamento e disposição de cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos e material particulado do ECP (ar)

O plano de gerenciamento de cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos e material particulado proveniente do ECP (ar) deve constar do Projeto aprovado pela CETESB.

O gerenciamento de cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos e material particulado proveniente do ECP (ar) deve conter informações sobre: quantificação, classificação, acondicionamento, identificação, armazenamento, transporte e disposição final.

4.7.1. Quantificação

As cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos e material particulado proveniente do ECP (ar) geradas no processo de incineração devem ser quantificadas em peso (Kg/dia).

4.7.2. Classificação

As cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos de material particulado proveniente do ECP (ar) devem ser classificados conforme NBR 10004.

4.7.3. Acondicionamento

As cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos de material particulado proveniente do ECP (ar) devem ser acondicionados em tambores metálicos.

4.7.4. Identificação

As cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos de material particulado proveniente do ECP (ar) devem ser identificados conforme NBR 7500.

4.7.5. Armazenamento

O local de armazenamento dos tambores deve ser coberto e identificado conforme NBR 7500.

4.7.6. Transporte

O transporte deve ser em veículos específicos para este fim.

4.7.7. Destino final

As cinzas, escórias, lodos da ETE (águas) e lodos de material particulado proveniente do ECP (ar) devem ser dispostos em aterros sanitários, compatíveis com a classificação dos resíduos.

4.8. Treinamento de pessoal

A correta operação de um sistema de incineração é fundamental na minimização de possíveis efeitos danosos ao meio ambiente. Assim sendo, a capacitação do operador

é um fator primordial e os responsáveis pela instalação devem fornecer treinamento adequado aos seus funcionários, no qual deve incluir:

- a) a forma de operação da instalação, dando-se ênfase a atividade específica a ser desenvolvida pelo indivíduo;
- b) treinamento para preenchimento dos registros de dados de operação do sistema (item 4.6.2).

4.9. Manutenção

Deve ser estabelecido um programa de manutenção periódica para todos os equipamentos do sistema.

4.10. Plano de Emergência

Em caso de acidentes e ser tomadas, coordenadamente, medidas que minimizem ou restrinjam os possíveis efeitos danosos decorrentes. A seqüência de procedimentos deve estar discriminada no Plano de Emergência, que deve conter:

- a) informação de possíveis acidentes e as ações a serem tomadas;
- b) indicação da(s) pessoa(s) que atuará(ão) como coordenador(es) das ações de emergência, indicando seu(s) e endereço(s), sendo que estes dados devem estar sempre atualizados;
- c) lista de todo equipamento de segurança existente, incluindo localização, descrição do tipo e capacidade.

A instalação deve manter uma cópia do Plano de Emergência em local de fácil acesso e garantir que todos os seus funcionários tenham conhecimento do seu conteúdo.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Incinerador

5.1.1. Primeira Câmara

- 5.1.1.1. A temperatura dos gases na saída da primeira câmara de queima deve ser superior a 800° C.
- 5.1.1.2. O tempo de residência dos resíduos em processo de incineração na primeira câmara deve ser igual ou superior a 60 minutos.

5.1.2. Última câmara de combustão

- 5.1.2.1. A temperatura dos gases na saída da câmara de ser igual ou superior a 1000° C.

- 5.1.2.2. O tempo de residência dos gases deve ser igual ou superior a 0,8 s.
- 5.1.2.3. O excesso de ar durante o processo de queima deve se tal que na saída o teor de oxigênio nos gases seja igual ou superior a 7% (v/v).
- 5.1.2.4. Deverá ser usado nesta câmara combustível gasoso.

5.1.3. Cinzas e escórias

- 5.1.3.1. Não deve haver presença de materiais voláteis nas cinzas escórias quando estas analisadas conforme NBR 10.004.
- 5.1.3.2. As amostragens de cinzas e escórias devem ser realizadas de acordo com a NBR 10.007.
- 5.1.3.3. As cinzas e as escórias devem ser dispostas em aterros sanitários compatíveis com a classificação dos resíduos, restringindo-se todavia a caracterização dos mesmos aos parâmetros mencionados na Tabela 1.

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS E ESCÓRIAS

Procedimentos			Métodos de Análise		Concentrações Máximas		
Parâmetro (1)	Lixiviação	Solubilização	Lixiviado / Solubilizado	Massa Bruta	Classe II Lixiviado (mg/l)	Classe III Solubiliz. (mg/l)	Classe II M. Bruta (mg/Kg) base úmida
Cd e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.160	EPA 3050	0,5	0,005	-
Pb e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.111	EPA 3050	5,0	0,05	1.000 (2) 100 (3)
Hg e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.134	EPA 7471	0,1	0,001	100
Ba e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.105	EPA 3050	100	1,0	-
Cr e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.193	EPA 3050	5,0 (4)	0,05	100 (5)
Cu e seus compostos	NBR 10005	NBR 10006	L5.116	EPA 3050	-	1,0	-

(1) elemento químico e seus compostos, expressos em termos de elemento químico

(2) chumbo inorgânico e seus compostos, expresso em chumbo

(3) Chumbo orgânico, expresso em chumbo.

(4) Cromo total e seu compostos, expressos em cromo

(5) Cromo VI e seus compostos, expresso em cromo

5.1.4. Monitores contínuos, indicadores e registradores

- 5.1.4.1. O incinerados deverá estar provido dos seguintes monitores contínuos nos efluentes gasosos instalados na chaminé:

TABELA 2 – MONITORES CONTÍNUOS

Parâmetro	Capacidade do Sistema de Incineração (Kg/dia)		
	< 200	200 a 1500	> 1500
Monóxido de Carbono	-	Indicador	Indicador e registrador
Oxigênio	-	Indicador	Indicador e registrador
Hidrocarbonetos Totais	-	-	Indicador e registrador
Opacidade	-	-	Indicador e registrador

Obs 1: A densidade colorimétrica da pluma da chaminé não deve ser superior ao padrão 1 da Escala de Ringelmann ou 20% de opacidade, exceto nas seguintes condições:

- Um único período de 15 min. Por dia, para operação de aquecimento de fomalha;
- Um período de 3 min., consecutivos ou não, em qualquer fase de uma hora;
- Em qualquer fase de uma hora, quando da realização da operação de aquecimento da fomalha, o período referido em b) já está incluído no período de 15 min. Referido em a).

Obs. 2: Métodos alternativos de coleta e análise poderão ser usados desde que previamente aprovados pela CETESB.

5.1.4.2. O incinerados deverá estar provido de indicadores e registradores de temperatura e pressão conforme especificado na Tabela 3:

TABELA 3 – INDICADORES E REGISTRADORES DE TEMPERATURA E PRESSÃO

Parâmetro		Capacidade do Sistema de Incineração (Kg/dia)		
		< 200	200 a 1500	> 1500
Temperatura	1ª Câmara	Indicador	Indicador e registrador	Indicador e registrador
	Última Câmara	Indicador	Indicador e registrador	Indicador e registrador
Pressão	1ª Câmara	Indicador	Indicador	Indicador e registrador
	Última Câmara	-	-	-

5.2. Limites de emissão para os efluentes gasosos

- 5.2.1. A geometria da chaminé e as características fluidodinâmicas dos gases devem satisfazer as condições para amostragem estabelecidas na L9.221. A velocidade dos gases efluentes da chaminé deve ser tal que permita realizar amostragens dos mesmos.
- 5.2.2. Os efluentes gasosos quando lançados à atmosfera devem satisfazer as exigências da tabela 4.
- 5.2.3. Para avaliação dos efluentes gasosos deverão ser utilizados metodologia listados no item 2. As amostragens deverão ser acompanhadas por Técnicos desta Cia.

TABELA 4 – LIMITES DE EMISSÃO POR CAPACIDADE DO SISTEMA DE INCINERAÇÃO

Poluente	Capacidade do Sistema de Incineração (Kg/dia)		
	< 200 Concentração (1)	200 a 1500 Concentração (1)	> 1500 Concentração (1)
Material Particulado	120 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
SO _x (Expresso em SO ₂)	250 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³
NO _x (Expresso em NO ₂)	400 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³
Ácido Clorídrico	100 mg/Nm ³ e 1,8 Kg/h	100 mg/Nm ³ e 1,8 Kg/h	70 mg/Nm ³
Ácido Fluorídrico	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³
Substâncias Classe I (2)	0,28 mg/Nm ³	0,28 mg/Nm ³	0,28 mg/Nm ³
Substâncias Classe II (3)	1,4 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³
Substâncias Classe III (4)	7 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³
Dioxinas e Furanos (5)(6)	-	0,14* ng/Nm ³	0,14 ng/Nm ³
CO (7)	125 mg/Nm ³	125 mg/Nm ³	125 mg/Nm ³

(1) Concentração em base seca, corrigida a 7% O₂, desde que não haja injeção de oxigênio puro.

(2) Concentração correspondendo ao somatório das emissões das substâncias químicas Classe I [Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), e Tálcio (Ti)], expressa em termos do elemento químico.

(3) Concentração correspondendo ao somatório das emissões das substâncias químicas Classe II [Arsênio (As), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Selênio (Se), e Telúrio (Te)], expressa em termos do elemento químico.

(4) Concentração correspondendo ao somatório das emissões das substâncias químicas Classe III [Antimônio (Sb), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cianetos (CN), Fluoretos (F), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Platina (Pt), Paládio (Pd), Ródio (Rh), Vanádio (V) e Estanho (Sn)], expressa em termos do elemento químico e ânion.

(5) Concentração expressa em 2,3,7,8 TCDD, corrigida pelo fator de equivalência de toxicidade (FET), como mostra a tabela 5, a seguir apresentada.

(6) Até 01 de Janeiro de 1999, poderá ser dispensado da comprovação as emissões de dioxinas e furanos, se for apresentada e aceita pela CETESB, demonstração técnica comprovando que o sistema de controle pode atender ao padrão especificado.

(7) Este padrão pode ser ultrapassado em algum intervalo inferior a 10 min, em qualquer período de 1 hora desde que não seja ultrapassado o valor de 625 mg/Nm³, em qualquer instante.

(*)Dependendo do porte e localização do incinerador a CETESB poderá, a seu critério, dispensar a coleta e análise destes poluentes.

Obs:

- As concentrações de substâncias químicas (na forma de particulado e vapor) nos efluentes gasosos da chaminé não devem ser superiores aos limites de emissão indicados na tabela acima. Nos casos em que o efluente apresentar substâncias pertencentes a classes diferentes, a concentração total (soma das concentrações individuais), não deve ser superior ao limite mais alto da classe em que se tem algum elemento presente.
- A capacidade do sistema de incineração será calculada considerando-se o somatório da capacidade máxima de cada incinerador e que o mesmo esteja em operação contínua durante 24 horas do dia.

TABELA 5
FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE TOXICIDADE (FET) DE VÁRIAS
SUBSTÂNCIAS PARA EXPRESSÁ-LAS COMO 2,3,7,8 TETRACLORO DIBENZO
P-DIOXINA

Substância	Fator de Equivalência de Toxicidade
Mono, di e triclorodibenzodioxina	0
2,3,7,8 Tetraclorodibenzodioxina (TCDD)	1
outros TCDD	0
2,3,7,8 Pentaclorodibenzodioxina (PeCDD)	0,5
outros PeCDDs	0
2,3,7,8 Hexaclorodibenzodioxina (HxCDD)	0,1
outros HxCDDs	0
2,3,7,8 Heptaclorodibenzodioxina (HpCDD)	0,01
outros HpCDDs	0
Octaclorodibenzodioxina (OCDD)	0,001
Mono, di e triclorodibenzodioxina	0
2,3,7,8 Tetraclorodibenzofuranos (TCDF)	0,1
outros TCDFs	0
1,2,3,7,8 Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)	0,05
2,2,3,7,8 Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)	0,5
outros PeCDFs	0
2,3,7,8 Hexaclorodibenzofurano (HxCDF)	0,1
outros HxCDFs	0
2,3,7,8 Heptaclorodibenzofurano (HpCDF)	0,01
outros HpCDFs	0
Octaclorodibenzofurano (OCDF)	0,001

5.2.4. As concentrações determinadas nos efluentes devem ser corrigidas, como segue, antes da comparação com os limites das Tabelas.

$$C_c = \frac{14}{21 - C_{O_2}} C$$

onde:

C_c = concentração corrigida para a concentração de oxigênio de 7% (v/v), em mg/Nm³

C_{O_2} = concentração de oxigênio medida, em % (v/v)

C = concentração do elemento determinado nos gases efluentes, em mg/Nm³

Nota: Esta correção só é válida quando se utilizar ar atmosférico na combustão.

5.3. Limites de emissão para os efluentes líquidos

5.3.1. Os efluentes líquidos quando lançados em sistema público de esgotos, provido de estação de tratamento com capacidade e de tipo adequado, deverão atender aos padrões de emissão do artigo 19-A do regulamento da Lei n° 997/76 de 31/05/76 aprovado pelo Decreto n° 8468/76 de 08/09/76 com redação pelo Decreto n° 15425/80 de 23/07/80.



- 5.3.2. Os efluentes líquidos quando lançados em corpos d'água deverão atender limites de emissão e aos padrões de qualidade dos corpos receptores estabelecidos nos artigos 10, 11, 12, 13 e 18 do regulamento da Lei nº 997/76 de 31/05/76 aprovado pelo Decreto nº 8468/76 de 08/09/76 e nos Artigos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 21 da Resolução CONAMA nº 20/86 de 18/06/86.
- 5.3.3. No caso de lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água, além do atendimento a legislação vigente, deverá ser realizada a desinfecção dos efluentes previamente ao lançamento.
- 5.3.4. Para os casos onde está prevista infiltração do efluente tratado, quando aceita pela CETESB, deverá ser realizada a desinfecção do mesmo previamente à infiltração.

6. *INSPEÇÃO*

6.1. *Teste de Queima*

O plano de teste de queima e sua realização, de responsabilidade do interessado, devem ser previamente aprovados pela CETESB.

- 6.2. O teste deve ser realizado com a capacidade máxima do incinerador, antes de entrar em operação normal e toda vez que se desejam alterar as condições de operação.

7. *ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO*

- 7.1. A instalação será aprovada em cada fase (projeto, construção e funcionamento) se ela cumprir todas as exigências desta Norma bem como as específicas elaboradas pela CETESB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.B.L. *Considerações Sobre o Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde no Brasil*. in: Seminário realizado no Departamento de Hidráulica e Saneamento a Escola de Engenharia de São Carlos/USP. 1995. 20 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. *Resíduos Sólidos: Classificação*, São Paulo, 1987, 63 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.807. *Resíduos de Serviços de Saúde: Terminologia*. São Paulo, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.808. *Resíduos de Serviços de Saúde: Classificação*. São Paulo, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.809. *Manuseio de Resíduos de Serviços de Saúde: Procedimentos*. São Paulo, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.810. *Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde: Procedimentos*. São Paulo, 1990.
- BERTUSSI FILHO, L.A. *Curso de Resíduos de Serviços de Saúde: Gerenciamento, tratamento e destinação final*. 1994. ABES, Curitiba.
- BONNER, T. et al. *Hazardous Waste Inceneration Engineering*. Monsanto Research Corporation. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey, 1984. 433p.
- BRACHT, M.J. *Disposição Final de Resíduos de Serviços de Saúde em Valas Sépticas*. In: Seminário Internacional sobre Resíduos Sólidos Hospitalares, 1993, Cascavel.

- BRASIL. Leis etc. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução Nº 5, de 5 de agosto de 1993.*
- BRASIL. Leis etc. Resolução Conjunta – SS/SMA – I, de 02 de maio de 1996.
- CETESB. Curso de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde, São Paulo, 1995.
- CETESB. *Especificação para Sistema de Incineração para Resíduos de Serviços Saúde Gerados em Portos e Aeroportos.* Projeto de Norma. 1992.
- CETESB. *Parecer Técnico No. 001/91/CAI/CAS.* São Paulo, 1991 CETESB. *Sistema de Incineração para Resíduos de Serviços Saúde* (Norma CETESB E-15011). São Paulo, 1997.
- CETESB. *Resíduos de Serviço de Saúde –* (Apostilas Ambientais. São Paulo, 1997. 40 p.
- CNEN – *Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas – Norma Experimental.* NE – 6.05. 1995.
- CUSAK, J.L. & TAILTZ, M.S. *Desinfecção de Resíduos Hospitalares por Microondas. Baixo Impacto Ambiental + Custo Eficaz,* ABB Sanitec, INC, EUA, In: *Seminário Internacional Sobre Resíduos Sólidos Hospitalares,* Cascavel, 1993.
- DANIELSON, J.A. ed. *Air Pollution Engineering Manual, Second Edition.* Research Triangle Park, NC. U.S. Environmental Protection Agency. AP-40. 1973. 978p. EPA. *Medical Waste Management in the United States – First Interim Report to Congress,* mimeo. 1990.
- DUCATTI, C. *Medidas da Variação natural da relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em amostras orgânicas,* Piracicaba, CENA/ESALQ, 1977, 118 p. Dissertação de Mestrado.
- DUCATTI, C.; SALATI, E. & MATSUI, E. Método de análise da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em matéria orgânica e das razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{18}\text{O}_2 /^{16}\text{O}_2$ em carbonatos. *Academia Brasileira de Ciências.* 51(2): 275-286, 1979.

- EPA. Medical Waste Management in the United States – Second Interim Report to Congress, mimeo, 1990.
- EPA. In Report., “PCDDs and PCDFs in Stationary Source Emission Air Samples” American Laboratory, pp 33-40, Dec. 1991.
- EPA. Medical Waste Management, USA, 1993.
- FÄNGMARK, I., STRÖMBORG, B., BERGE, N. & RAPPE, C. *Influence of Postcombustion Temperature Profiles on the Formation of PCDDs, PCDFs, PDBzs, e PCBs in a Pilot Incinerator*. Environ Sci. Technol., 1994, 28, 624-629.
- FORMAGGIA, D.M.E. *Resíduos de Serviço de Saúde*. Revista Limpeza Pública: 43. 8-16. São Paulo, 1986.
- GRIPP, W.G. *Aspectos Técnicos e Ambientais para Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: Considerações Sobre a Proposta para São Paulo*. 1998. 209 p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos - SP.
- GUPTA, A.K., LLANCHEZHIAN, E. & MISSOUM, A., *Thermal Destruction Behavior of Plastic and Non-plastic Wastes in a Laboratory Scale Facility*. Department of Mechanical Engineering College Park, Maryland. FACT-vol. 18, Combustion Modeling, Scaling and Air Toxins. ASME, 1994.
- HAMILTON, M. C., HOOVER, D. & FOWLER, B., *Application of the Environment Canada Reference Method for dioxin and furan analysis*. Pulp Paper Can 96(2): T52-54 (February 1995). Paper presented at the 1993 Environment Conference of the Technical Section. CPPA at Thunder Bay. ON, on October 26 to 28, 1994.
- JARDIM, N. S. & WELLS, C. *Lixo Municipal*. Manual de Gerenciamento Integrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE. São Paulo, 1995.
- KRAUS, P. *Correspondência Pessoal*. Instituto de Química da Universidade de Tübingen – Alemanha, 1991.

- LISI, C.S. *Desenvolvimento Metodológico para Datação radiocarbônica de Amostras de Ossos Por Espectrometria de Cintilação Líquida*. 1995. 79 p. Dissertação de Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP. Piracicaba - SP.
- MOOK, W.G. *Geochemistry of the stable carbon and oxygen isotopes of natural waters in the Notherlands*. Rijksuniversiteit te groningen, 1968, 156 p. (Tese de Doutorado).
- MOREIRA, C.A.X & WAJNSTAJN, G.M. *Curso: Lixo Hospitalar: Gerenciamento, tratamento e destinação final*. 1993, Rio de Janeiro, ABES.
- MOREL, M.M.O. *Classificações dos Resíduos de Serviços de Saúde*. Companhia Municipal de Limpeza Urbana, São Paulo, 1991.
- MOTTA, F.S. & ORTH, M.H.A. *Resíduos Sólidos Hospitalares – Legislação, Fontes e Destinação Final* – R. Hosp. Adm. Saúde, São Paulo, 12 (1): 20 - 4, jan./mar., 1988.
- MOTTA, F.S. *Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde – RSS*. Prefeitura de São Paulo / LIMPURB, 1996.
- OROFINO, F.V.G. *Aplicação de um Sistema de Suporte Multicritério – SAATY FOR WINDOWS – na Gestão dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde – Caso do Hospital Celso Ramos*. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- PEREIRA, R.L. *Lixo Hospitalar a Polêmica de seu Tratamento e Disposição*. Rev. Limpeza Pública da ABLP, ed. n° 39, 1992, p.4-6 set/out/nov.
- REGO, R.C.E. *Planos de Gerenciamento e Formas de Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde*, 1994, mimeo.
- RUBEY, W.A. *Design Considerations for a Termal Decomposition Analytical System*. Cincinnati, OH, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2 - 80-098. 1980. 143 p.
- SCHALCH, V. et al. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. ABES, Goiânia, 1990. 271 p.

SCHALCH, V. & ANDRADE, J.B.L. *Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde*. CVS, Fortaleza, 1995. 112 p.

SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE. *Subsídios para a Organização de Sistemas de Resíduos em Serviços de saúde*. Centro de Vigilância Sanitária, São Paulo, 1989.

SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE. *Considerações sobre o Risco Potencial dos Resíduos Gerados pelos Estabelecimentos Prestadores de Serviços de Saúde na Transmissão de Doenças*. Centro de Vigilância Sanitária, São Paulo, 1989.

SUAREZ, A.A. & MIYAMOTO, H. *Gerenciamento de Rejeitos Radioativos Provenientes do Uso de Materiais Radioativos na Medicina*. Indústria e Pesquisa, Publicação nº 289. IPEN, São Paulo, 1990.

TAKAYANAGUI, A.M.M. *Trabalhadores de Saúde: Ação educativa do enfermeiro na conscientização para gerenciamento de resíduos sólidos*. Ribeirão Preto, 1993. 17 p. Tese (Doutorado) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto/USP.

TAMERS, M.A. Carbon-14 dating With the liquid scintillation counter: total synthesis of the benzene solvent. *Science*, Washington, 132 (3428): 668-9, 1996.

VALÊNCIA, E.P.E. *Datação por ^{14}C e Razão $^{13}C/^{12}C$ de Solos Sob Climas tropical e Subtropical do Brasil* 1993. 91 p. Dissertação de Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP. Piracicaba - SP.

WHEELER, E.L. *Scientific Glassblowing*. New York: Interscience Publishers, 1958. 478 p.

ZANON, U. *Riscos Infecciosos Imputados ao Lixo Hospitalar. Realidade Epidemiológica ou Infecção Sanitária?* Prefeitura de Vitória - ES., 1992.