

III-412 - AVALIAÇÃO DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PELO PROCESSO DE PIRÓLISE

Gilberto Caldeira Bandeira de Melo⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela UFMG. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG. Doutor em Ciências de Engenharia (Dr.-Ing.) pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Professor associado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

Liséte Celina Lange

Química pela UFPR. Mestre e Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Londres, Inglaterra. Pós Doutorado em Controle da Poluição pela UFMG. Professora associada ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

Artur Tôrres Filho

Engenheiro Agrônomo pela UFV. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental/Engenheiro de Segurança do Trabalho pela UFMG. Mestre e Doutorando em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela UFMG. Diretor da empresa Engenho Nove Engenharia Ambiental Ltda.

Alison Frederico Medeiros Ferreira

Engenheiro Ambiental e Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade FUMEC. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Bloco 1, 4º andar – Pampulha – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30.270-901 – Brasil – Tel: +55 (31) 3409-1934 – Fax: +55 (31) 3409-1879 - e-mail: gilberto@desa.ufmg.br

RESUMO

De uma forma geral a gestão dos resíduos sólidos no país, na sua concepção, o equacionamento da geração, armazenamento, coleta e disposição final, tem sido um constante desafio para os municípios e para a sociedade. Os Resíduos de Serviços de Saúde aparecem em evidência nesse contexto, pois são submetidos a regulação específica. Este trabalho apresenta uma tecnologia de tratamento térmico de resíduos de serviços de saúde via pirólise, e descreve uma metodologia para avaliação tecnológica e ambiental de um aparato experimental com capacidade de 3.000 L.ciclo⁻¹ que está sendo implantado. Neste trabalho encontram-se descritos o aparato experimental, além dos principais critérios de dimensionamento dos sistemas de controle atmosféricos adotados, assim como o plano de monitoramento proposto para avaliação da planta de tratamento térmico de resíduos de serviços de saúde pelo processo de pirólise.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de resíduos, Pirólise, Resíduos de Serviço de Saúde.

INTRODUÇÃO

No Brasil são coletados em torno de 259.547 t de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU por dia. Deste total, 64% é disposto em aterro sanitário, 15% em aterro controlado e 17 % em sistemas considerados inadequados (lixões e áreas alagáveis). Dos 5564 municípios brasileiros, 80 % possuem coleta dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde - RSS, perfazendo um total de 8909 t por dia (PNSB, 2008). Os Resíduos de Serviços de Saúde correspondem aproximadamente 3% do total de Resíduos Sólidos Urbanos coletados.

Os resíduos de Serviços de Saúde aparecem em evidência como um dos grandes desafios da atualidade, pois seu gerenciamento é submetido uma regulação específica. O RSS é gerado em diferentes estabelecimentos que prestam serviços de saúde, como hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias e unidades básicas de saúde.

Conforme o manual da ANVISA (2006) os RSS merecem atenção especial em todas suas fases de manejo (segregação, condicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final) em decorrência dos riscos ocupacionais que podem oferecer para os trabalhadores que manipulam estes resíduos, devido à existência de materiais perfurocortantes e a presença de agentes biológicos ou químicos. Além disto, se disposto ou tratado de forma incorreta pode provocar significativos riscos ambientais e de saúde pública.

Atualmente, segundo a Resolução CONAMA n.º 358/2005 e ANVISA RDC N.º 306/2004 os resíduos de serviço de saúde são classificados em cinco grupos, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos RSS conforme resolução CONAMA n.º 358/05 e RDC n.º 306/04.

Grupo	Característica
A	Biológico
B	Químico
C	Radioativo
D	Semelhante aos domiciliares e recicláveis
E	Perfurantes, cortantes e abrasivos

Fonte: FEAM, 2008.

Alguns resíduos biológicos destacam-se por conter potencialmente agentes patogênicos que podem causar doenças, e necessitam de tratamento no estabelecimento gerador ou em unidade de tratamento externo. Os resíduos do grupo B (químico), também podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características específicas.

O grupo C refere-se aos rejeitos radioativos que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, devendo ser dispostos conforme normas específicas do CNEN. Ao contrário dos demais resíduos, o grupo D não demanda cuidados especiais por tratar de resíduos comuns, podendo ter a mesma destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU.

Os perfurocortantes (grupo E) são considerados bastantes críticos, devido aos riscos de acidentes por corte, perfuração ou escorificações. Estes precisam ser acondicionados em embalagens rígidas resistentes a ruptura ou vazamento, e devem ser dispostos ou tratados conforme sua fonte de contaminação.

Existem várias tecnologias no mundo aplicáveis ao tratamento de RSS, que podem ser classificadas nas seguintes categorias (USEPA, 1994):

- **Térmica:** aquecimento seco ou úmido, microondas, infravermelho, laser, plasma e pirólise;
- **Química:** cloro e derivados de cloro, ozônio e enzimas;
- **Radiação:** ultravioleta e cobalto-60.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2010) no Brasil a destinação dos RSS é distribuída da seguinte forma: 31,8 % incineração, 27,5 % aterro, 15,4 % lixão, 15,1 % autoclave, 7,8 % microondas e 2,5 % vala séptica. Portanto, pode-se concluir que mais de 40 % dos resíduos sólidos de serviços de saúde são dispostos em aterros ou lixões sem tratamento especial, contrariando os requisitos da legislação.

Todas as tecnologias apresentadas possuem suas vantagens e desvantagens, com vários níveis de segurança, custos e impactos sobre o meio ambiente. Contudo, segundo Melo et al. (2007), os tratamentos como a incineração e plasma, apesar de ocasionarem uma redução acima de 90% em peso e volume do resíduo, possuem algumas desvantagens que podem inviabilizar a sua implantação, como por exemplo, alto custo inicial, de manutenção e operação e necessidade de mão-de-obra especializada. Alternativas um pouco menos onerosas, como valas sépticas, desinfecção química e autoclaves, além de não garantirem a mesma eficiência na destruição dos organismos patogênicos, não possuem a mesma capacidade de redução do peso/volume dos resíduos.

Diante do cenário atual e da dificuldade de equalização dos custos, riscos ambientais e redução de massa/volume dos resíduos a pirólise pode ser uma opção promissora no tratamento de RSS. A pirólise se caracteriza pela degradação térmica dos resíduos em uma atmosfera com deficiência de oxigênio, minimizando, portanto, as emissões de poluentes formados em atmosfera oxidante, tais como dioxinas e furanos. As emissões atmosféricas provenientes de processos de tratamento térmico de resíduos consistem da principal preocupação dos técnicos, em relação aos impactos ambientais gerados por esta atividade.

O Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais possui um grupo de pesquisa de pirólise aplicada ao tratamento de diversos tipos de resíduos sólidos, incluindo os RSS. O primeiro aparato experimental montado por esta pesquisa foi testado em uma planta piloto com capacidade de 200 L.ciclo⁻¹ sem a utilização de sistemas por via úmida para controle das emissões atmosféricas. Encontra-se atualmente implantado e em fase de início de operação, um aparato experimental em escala plena, com capacidade de 3000 L.ciclo⁻¹ e os sistemas de controle ambiental de emissões atmosféricas serão apresentados neste estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho insere-se no Convênio de Cooperação Técnica intitulado “Avaliação Tecnológica de Processo Térmico para Tratamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde”, firmado com o objetivo de consolidar a tecnologia de pirólise como alternativa para estes resíduos. O aparato experimental encontra-se em implantação na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos - CTRS da Superintendência de Limpeza Urbana, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, em fase de testes e início de operação.

O aparato experimental a ser testado refere-se a um dispositivo tecnológico denominado comercialmente de “Pyrolix”, com depósito de patente junto ao INPI sob número 14090002634, e titularidade pertencente à Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Trata-se de um processo de pirólise, o qual promove a decomposição térmica da matéria orgânica em atmosfera com ausência ou deficiência de oxigênio, valendo-se do uso de um fluido térmico circulante para o gerenciamento dos reatores.

O processo “Pyrolix” pode ser aplicado para três diferentes finalidades:

- Torrefação de madeira ou outro tipo de biomassa para obtenção de madeira ou biomassa torreficada;
- Pirólise de madeira ou outro tipo de biomassa para obtenção de carvão vegetal;
- Pirólise de resíduos de origem municipal, industrial, agrícola, incluindo Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde.

O processo de tratamento térmico de Resíduos de Serviços de Saúde - RSS por pirólise é ilustrado na figura 1. Os resíduos serão recebidos e estocados em câmara fria. Antes do carregamento do reator, os resíduos serão pesados, visando o dimensionamento da carga de processo e a verificação da perda de massa ocorrida após o tratamento.

Os resíduos para tratamento seguem pela esteira de alimentação até o reator, e a partir daí é iniciado o processo de tratamento térmico propriamente dito. Após cada carregamento, o reator é submetido a aquecimento indireto por meio de fluido térmico, o que promove dessa forma a carbonização do RSS em temperaturas acima de 300 °C em ciclos intermitentes (bateladas).

Durante o processo de pirólise ocorrem reações químicas que resultam na desnaturação, craqueamento e rompimento de ligações químicas dos polímeros, liberando gases e vapores. Como resultado, o processo provocará a carbonização dos materiais de natureza orgânica, e consequente redução de massa e volume do material processado.

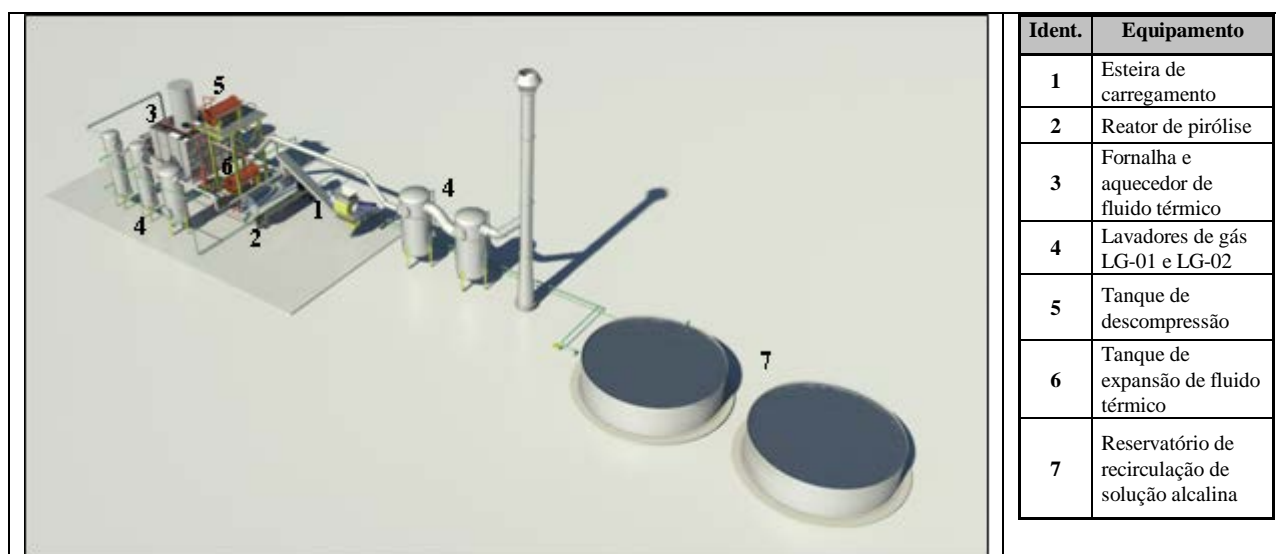


Figura 1: Layout do aparato experimental (Protótipo 2)

A reação é endotérmica em sua fase inicial, na qual os RSS recebem calor do fluido térmico até atingirem temperaturas onde as reações se iniciam, e estas reações podem gerar calor a partir de certo momento, sendo este eventualmente suficiente para a manutenção do processo. Da mesma forma os gases e vapores formados têm um poder calorífico e serão aproveitados na caldeira de aquecimento do fluido. O fluido térmico opera em circuito fechado, transitando pelo reator e pela fornalha do aquecedor, o que manterá a temperatura em um patamar adequado para a manutenção do processo. Será utilizada biomassa, na forma de cavacos de madeira, como combustível auxiliar.

Estima-se que o tempo necessário para ocorrência do ciclo completo dentro do reator seja de três horas e ao final dessa etapa, o produto obtido apresenta-se em forma de material orgânico carbonizado para ser encaminhado a uma etapa de resfriamento final em compartimento metálico externo ao reator.

Os gases e vapores gerados no reator de pirólise serão encaminhados ao sistema de condensação e absorção de gases por via úmida (lavagem alcalina). A solução de lavagem de gases deve operar em circuito fechado e o líquido será encaminhado a um reservatório de recirculação. A solução de lavagem de gases do reservatório irá acumular os condensáveis formados na pirólise, incluindo a fase aquosa (licor pirolenhoso) e o alcatrão insolúvel, e será descartada após saturação como um efluente líquido enviado à estação de tratamento de efluentes da concessionária local, após avaliação qualitativa e quantitativa dos despejos.

A fração não condensável não retida nas torres de lavagem de gases possui poder calorífico, que será aproveitado na fornalha do aquecedor de fluido térmico junto com o combustível auxiliar. Os gases de exaustão provenientes da fornalha de combustão dos gases da pirólise e do combustível auxiliar (biomassa), receberão tratamento através de absorção por via úmida em outro conjunto de torres de lavagem de gases operando em série.

No presente estudo apresentam-se os critérios para dimensionamento dos sistemas de controle de emissões atmosféricas, assim como os planos de monitoramento adotados para o novo aparato experimental, em escala plena, com capacidade de 3000 L.ciclo⁻¹, processando resíduos de serviço de saúde. Para o cálculo das vazões resultantes dos processos de combustão dos gases foi utilizado o *software* Acomb-5 desenvolvido pelo IPT.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em 2007 com objetivo de avaliar a viabilidade técnica e ambiental do processo de pirólise, Melo et. al. realizaram um experimento utilizando um aparato experimental em escala piloto de 200 L.ciclo⁻¹, num primeiro protótipo, um com uma amostra simulada de RSS.

Naquele experimento o processo alcançou uma redução mássica de 89% e as concentrações de clorados nas emissões atmosféricas foram significativamente inferiores às máximas permitidas na legislação utilizada como referência. Foram observadas elevadas concentrações de cloretos nos resíduos, concluindo-se que os compostos halogênicos não apresentam tendência à volatilização durante a pirólise, resultando dessa forma em baixas concentrações de dioxinas e furanos nas emissões. Naquele aparato foram monitorados os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentrações dos compostos amostrados nos gases de exaustão do reator de pirólise (Protótipo 1).

Parâmetros		Unidade	Média das Amostras	Valor limite
Concentração de Material Particulado		mg.Nm ⁻³	222,5	70
Concentração de HCl		mg.Nm ⁻³	0,5	80**
Concentração de NOx		mg.Nm ⁻³	209,4	560**
Concentração de Dioxinas e Furanos		ng.Nm ⁻³	0,16	0,5**
Concentração de VOC's*	Benzeno	mg.Nm ⁻³	0,2453	100***
	Tricloroeteno	mg.Nm ⁻³	0,2437	100***
	Tolueno	mg.Nm ⁻³	0,2647	100***
	Etilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,2141	100***
	m p-xileno	mg.Nm ⁻³	0,1967	100***
	o-xileno	mg.Nm ⁻³	0,0371	100***
	Estireno	mg.Nm ⁻³	0,0409	100***
	n-alcanos (C5-C10)	mg.Nm ⁻³	0,00837	100***
	Isopropilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,0119	100***
	n-propilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,01427	100***
	1,3,5 trimetilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,01427	100***
	1,2,4- trimetilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,03107	100***
	sec-butilbenzeno	mg.Nm ⁻³	0,01616	100***

* Relação de Compostos Orgânicos Voláteis detectados nas medições dos gases de exaustão

** Valores limites na legislação adotada como referência (CONAMA,2002)

***Valores limites na legislação adotada como referência (TA Luft)

Fonte: MELO et al., 2007.

Observando os resultados constantes na tabela 1, pode-se verificar que as concentrações de compostos orgânicos voláteis encontram-se abaixo do limite, da norma adotada como referência. Foram avaliados 37 grupos de compostos orgânicos, sendo que apenas os apresentados na tabela 1 foram detectados pelos métodos de análise utilizados. Estes resultados podem ser atribuídos a câmara de queima de gases na fornalha, que atuou satisfatoriamente em relação à destruição dos compostos.

As concentrações de material particulado avaliado no aparato 1, superaram o limite de 70 mg.Nm⁻³ imposto pela norma utilizada como referência no caso a Resolução CONAMA n.º 316. Como este aparato contou apenas com um ciclone simples no tratamento dos gases de exaustão do processo, é de se esperar que com a utilização de sistemas mais eficientes por via úmida, no protótipo 2, as emissões possam atingir níveis de concentração compatíveis com o limite preconizado pela norma adotada como referência.

Para protótipo 2 foram propostos quatro lavadores de gases do tipo hidro-ventúri. Dois lavadores (LG- 01) encontram-se implantados na linha de exaustão dos gases gerados no reator, antes dos mesmos serem

encaminhados à fornalha, e os outros dois equipamentos (LG-02) instalados após a fornalha, objetivando o tratamento dos gases de combustão antes do lançamento para a atmosfera.

Nos lavadores os gases recebem a incidência do jato d'água em um canal tipo venturi ejetor, jato esse atuante no mesmo sentido ao do escoamento. Os gases em seguida defletem e sobem ao longo de uma zona de turbulência. A água que vai é recolhida na parte inferior do lavador é encaminhada a tanques de decantação e resfriamento e bombeada de volta aos ejetores venturi, estabelecendo-se assim o circuito fechado. O ejetor é fabricado em aço carbono e pode trabalhar com altas temperaturas, dotado de um eliminador de névoas, para que o gás saia o mais seco possível, e tem as características conforme a Figura 2 abaixo:

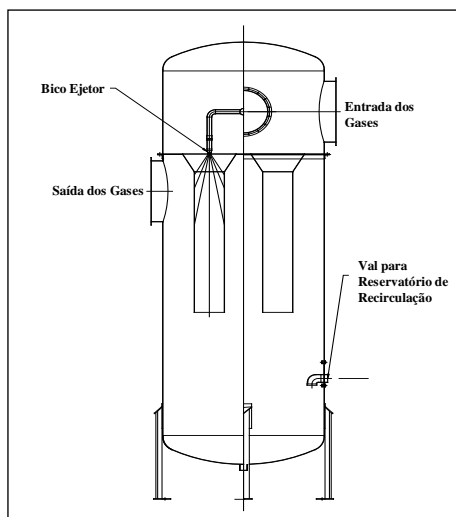


Figura 2: Lavador de gás utilizado no protótipo 2

CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE CONTROLE

Neste tópico são apresentados os critérios para dimensionamento dos sistemas de controle das emissões atmosféricas. Para a estimativa da vazão de gases gerados pelo sistema de tratamento térmico pode-se dividir a geração em duas fases distintas, a saber, os gases gerados pelo processo de pirólise no interior do reator e os gases gerados pelo processo de combustão da biomassa a ser utilizada como combustível auxiliar em conjunto com a combustão dos gases de pirólise, o que deverá acontecer na fornalha de aquecimento de fluido térmico.

A vazão máxima de massa de gás (ϕ_1) estimada para os gases de processo (reator de pirólise) a 250°C, considerando a densidade do gás de 0,67 kg.m⁻³ e a capacidade máxima do reator de 3.000 L.ciclo⁻¹ pode ser assumida como:

$$\phi_1 = 1.080 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \text{ (vazão crítica)}$$

Este valor foi estimado com base na previsão de uma perda de massa dos resíduos em 60% ocorrendo em um período de 20 minutos durante a pirólise, e assumindo que essa perda de massa seja convertida em gases com a densidade acima indicada, à temperatura de 250°C e pressão atmosférica. Assim sendo, os equipamentos lavadores de gases foram dimensionados utilizando o critério de atendimento à vazão ϕ_1 , assumida como vazão máxima de massa de gás. Considerando-se que 30 % da massa do gás gerado condensem-se nas torres de lavagem, assume-se ϕ_2 como a vazão do gás de pirólise após a passagem pelas torres de lavagem, sendo:

$$\phi_2 = 756 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Para o cálculo da vazão resultante da combustão desses gases na fornalha de pós-queima (ϕ_2), adotou-se a combustão desses gases com a estequiometria de queima do metano, monóxido de carbono e hidrogênio com 40 % de ar em excesso. Dessa forma, tem-se o cálculo da vazão resultante da combustão do gás de pirólise com 40 % de ar em excesso. (Conforme Acomb-5 para combustão de metano e T=750°C):

$$\phi_3 = 5.036,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Em seguida, estima-se a quantidade de cavaco de madeira (40 % de umidade, poder calorífico de 3050 kcal.kg⁻¹) para suprimento da energia térmica necessária para o aquecedor de fluido térmico (400.000 kcal.h⁻¹) operando com 70 % de eficiência:

$$M_{\text{cavaco}} = 400.000 \text{ kcal.h}^{-1} / (0,7 \times 3050 \text{ kcal.kg}^{-1}) = 187,35 \text{ kg.h}^{-1}.$$

A vazão resultante da combustão desta taxa de consumo de cavaco, com 40 % de ar em excesso. (Conforme Acomb-5 para T=750°C) é:

$$\varphi_4 = 3.221,9 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.$$

Portanto, a vazão total de gases na fornalha na situação crítica (T_d). (Conforme Acomb-5 p/ T=750°C) será de:

$$\varphi_5 = \varphi_4 + \varphi_3 = 8258,7 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.$$

Considerando o volume da fornalha que foi dimensionada com a capacidade de 9,2 m³, pode-se estimar o tempo de detenção mínimo dos gases nesse ambiente de tratamento térmico, que é de

$$T_d = 9,2 \text{ m}^3 / 8.258,7 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} = 0,0011 \text{ h} \cong 4,0103 \text{ s}$$

Este tempo de detenção à temperatura de 750°C é suficiente para o tratamento térmico.

Por último, o cálculo da vazão dos gases para ingresso nas torres LG-02 (considerando a exaustão dos gases à temperatura de 750 °C da fornalha, trocando calor com a serpentina de fluido térmico e chegando aos lavadores à temperatura de 250 °C), será de

$$\varphi_6 = 4.222,8 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.$$

MONITORAMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL

Monitoramento de Efluentes Hídricos

O efluente gerado na planta de pirólise refere-se ao descarte da água de lavagem dos gases gerados nas quatro torres de lavagem, sistema que deverá operar em circuito fechado, alternando a passagem da água pelos lavadores e reservatórios de recirculação e resfriamento. Estima-se que a quantidade de condensáveis formados nos lavadores LG-01 será bastante maior do que o consumo de água por evaporação para os lavadores LG-02, e que será necessário o descarte de excedentes e reposição por substituição completa da solução de lavagem alcalina após a saturação do líquido, que deverá ocorrer a cada semana de operação.

Visando avaliar a qualidade final dos efluentes descartados semanalmente serão monitorados os parâmetros: volume total de efluentes, pH, óleos e graxas, DQO, série de sólidos, amônia, fenóis, fluoretos totais, sulfeto totais e sulfato. O descarte dos efluentes será realizado na rede da concessionária local (COPASA), com encaminhamento à estação de tratamento de efluentes operada pela concessionária local.

As coletas serão realizadas, semanalmente, acompanhando a frequência prevista para o descarte. Está programado um período de operação de aproximadamente 3 meses, totalizado 12 coletas durante o período de operação da planta piloto. Contudo, estão sendo previstas mais 8 coletas adicionais, para avaliação da qualidade do efluente antes do período de saturação, perfazendo, portanto, um total de 20 amostras. Os resultados serão comparados com os limites de concentração presentes nas normas T.187/2 da COPASA, Resolução CONAMA n.º 430/11 e a norma estadual Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n.º 01/2008.

Monitoramento das Emissões Atmosféricas

As emissões serão monitoradas na chaminé do aparato, para avaliação dos gases gerados na fornalha, após a passagem pelas duas últimas torres de lavagem de gases (LG-02). Os parâmetros previstos para análise através da amostragem isocinética das emissões são: vazão, temperatura, material particulado, compostos orgânicos voláteis (VOC), composição volumétrica e eficiência da combustão (CO, O₂, CO₂), e poluentes prioritários (SO_x, NO_x, HCl, HF, HBr, Cl₂, dioxinas e furanos).

Deverão ser efetuadas três campanhas de amostragens de acordo com a norma NBR 10701. Os parâmetros de eficiência de combustão serão medidos com medidor portátil diariamente. Os referenciais normativos a serem utilizados são a Resolução CONAMA n.º 316/02, Resolução CONAMA n.º 382/06 e normas internacionais.

Quadro 2: Metodologias e parâmetros a serem monitorados na chaminé

Parâmetro	Metodologia
Material particulado	ABNT (MB 3355/90, NBR 12019, NBR 12827); USEPA (Method 5)
Dióxido de Enxofre	ABNT (MB 3357/90, NBR 12021);
Óxido de Nitrogênio	USEPA (Method 7); CETESB (L-9.229)
COV	USEPA (Method 18, Method 30); CETESB (L-9.232)
Ácido Clorídrico (HCL)	USEPA (Method 26)
Cloro Livre (CL ₂)	CETESB (L-9.231)
Ácido Fluorídrico (HF)	USEPA (Method 13B); CETESB (L-9.213)
Ácido Bromídrico (HBr)	USEPA (Method 26); L9.231 da CETESB
Dioxinas e furanos	USEPA (Method 23)

Monitoramento dos Resíduos Sólidos

O resíduo carbonizado gerado após a pirólise do RSS será caracterizado de acordo com as normas brasileiras NBR 10004-Classificação de Resíduos, NBR 10005- Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

Com intuito de verificar a possibilidade de aplicação do resíduo carbonizado em processos de co-processamento em fornos de clínquer, será realizado o “teste dos 13 metais” (Cádmio, mercúrio, tálio, arsênio, cobalto, níquel, selênio, telúrio, antimônio, cromo, estanho, chumbo, vanádio), conforme definido na norma estadual Deliberação Normativa n.º 026 do COPAM. Serão avaliados ainda, os parâmetros: cloro, flúor, enxofre, brometo, poder calorífico superior e inferior, perda ao fogo e cinzas.

Visando avaliar a inativação biológica do resíduo, deverá ser aplicado Tratamento Nível III de Inativação Microbiana. Para todos os parâmetros serão realizadas quatro campanhas de amostragem.

CONCLUSÕES

O tratamento térmico de resíduos com utilização do processo de pirólise está sendo objeto de desenvolvimento tecnológico para aplicação no gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, com a consolidação em escala plena de uma tecnologia de características inovadoras. O processo “Pyrolix”, dentro das avaliações já realizadas em experimentos anteriores no protótipo 1 demonstrou ser uma opção promissora, necessitando, no entanto de testes em escala plena no protótipo 2 para ser adotada como alternativa e disponibilizada para o mercado.

O processo avaliado apresenta uma série de vantagens verificadas no gerenciamento de resíduos, tais como: redução de massa (podendo alcançar índices entre 80 % e 90 %); utilização de combustível auxiliar de baixo custo (biomassa) na planta de tratamento; eliminação de percolados (chorume) na disposição final; possibilidade de modificação da classificação do resíduo processado para Classe IIA – não inerte (NBR 10.004/2004) podendo então ser encaminhado a tratamento em aterro sanitário convencional; possibilidade de uso energético dos resíduos tratados em outros processos (co-processamento em fornos de clínquer); maior controle da corrosão dos componentes mecânicos nos equipamentos térmicos.

No entanto, para comprovar as vantagens do processo, será feita a avaliação da planta protótipo 2 por meio dos métodos de avaliação de sua eficiência tecnológica, energética, e sobretudo ambiental, por meio dos efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos sólidos, conforme o plano de avaliação descrito neste trabalho. Conclui-se, portanto, que a consolidação de uma tecnologia como mais uma alternativa viável terá que seguir a

avaliação descrita neste trabalho. Finalmente, numa etapa posterior, a viabilidade e competitividade econômica da nova tecnologia será avaliada, por meio de estudos comparativos dos seus custos e benefícios, mas de uma forma comparativa com as demais tecnologias que também sejam igualmente viáveis do ponto de vista técnico e ambiental. Enquanto prevalecer no país a possibilidade de que os resíduos sejam gerenciados e dispostos sem controle e sem observância estrita dos rigorosos padrões da regulação ambiental, vai ser difícil, senão impossível, fazer com que as tecnologias adequadas de tratamento encontrem o seu devido espaço no mercado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio e a participação da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU), por meio de um convênio tecnológico e da FAPEMIG pelo apoio financeiro prestado aos autores para participação no congresso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil-2010*. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>> Acesso em 29 de abril 2011.
2. APHA / AWWA/ WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION / AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION / WATER ENVIRONMENT FEDERATION *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. Washington DC, USA: APHA / AWWA / WEF, 1998.
3. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde*. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/servicosade/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf> Acesso em 04 de abril 2011.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004 – Resíduos Sólidos-Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido*. Rio de Janeiro, 2004.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos*. Rio de Janeiro, 2004.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *MB 3355 – Efluentes gasosos em dutos e chaminé de fontes estacionárias – Determinação de material particulado*. Rio de Janeiro, 1990.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12019 – Efluentes gasosos em dutos e chaminé de fontes estacionárias – Determinação de material particulado*. Rio de Janeiro, 1990.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12827 – Efluentes gasosos com sistema filtrante no interior do duto ou chaminé de fontes estacionárias – Determinação de material particulado*. Rio de Janeiro, 1993.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *MB 3357 – Efluentes gasosos em dutos e chaminé de fontes estacionárias – Determinação de dióxido de enxofre trióxido de enxofre e névoas de ácido sulfúrico*. Rio de Janeiro, 1990.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12021 – Efluentes gasosos em dutos e chaminé de fontes estacionárias – Determinação de dióxido de enxofre trióxido de enxofre e névoas de ácido sulfúrico*. Rio de Janeiro, 1990.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.701 – Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias*. Rio de Janeiro, 1989.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *MB 3080 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – determinação da velocidade e vazão*. Rio de Janeiro, 1989.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *MB 3081 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – determinação de umidade*. Rio de Janeiro, 1989.
15. BRASIL. Agência nacional de vigilância sanitária. Resolução nº. 306 de 07 de dez. de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/howAct.php?id=13554>>. Acesso em 20 de outubro de 2010.
16. BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução nº. 316 de 29 de out. de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em 10 de novembro 2010.

17. BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução nº. 358 de 29 de abr. de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>>. Acesso em 20 de outubro 2010.
18. BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução nº. 382 de 26 de dez. de 2006. Dispõe sobre Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2011.
19. BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente. Resolução nº. 430 de 13 de mai. de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 23 de maio 2011.
20. MELO, G. C. B.; TORRES FILHO, A.; BORGES, M. E.; BICALHO, P. A.; VALENTE, V. B. Avaliação de desempenho de um reator de pirólise no tratamento de uma amostra simulada de resíduos de serviço de saúde. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 4., 2008, Palmas. *Anais...* Palmas: 2008 .p. 1-8.
21. MINAS GERAIS. Conselho estadual de política ambiental do meio ambiente. Deliberação Normativa nº. 026 de 28 de jul. de 2009. Dispõe sobre co-processamento de resíduos em fornos de clínquer. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=4067>>. Acesso em 10 de novembro 2010.
22. MINAS GERAIS. Conselho estadual de política ambiental do meio ambiente e Conselho estadual de recursos hídricos de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº. 01 de mai. de 2008. Dispõe sobre Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em 10 de novembro 2010.
23. MINAS GERAIS. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Norma Técnica nº. T.187/2 de 05 de nov. de 2002. Lançamento de Efluentes Líquidos não Domésticos na Rede Pública Coletora de Esgotos. Disponível em: <<http://www.copasa.com.brhttp://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=4067>>. Acesso em 14 de janeiro de 2010.
24. MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde, 2008. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/minassemlixoes/cartilha_rss_alta.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2011.
25. PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PNSB, 2008). Rio de Janeiro: 2010. ISBN: 978-85-240-4135-8. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2011.
26. USEPA - United States Environmental Protection Agency. Technology Transfer Network. 2011. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2011.