

## ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA DO BIOGÁS PROVENIENTE DA INCINERAÇÃO DO CHORUME PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Josmar Davilson Pagliuso

PQ

Carlos Roberto Regattieri

PG

carloreg@sc.usp.br

### RESUMO

Trabalho realizado junto ao NETeF – Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos da EESC/USP e ao aterro Sanitário de São Carlos, objetivando a verificação da viabilidade energética e ambiental do tratamento do chorume através da sua incineração com o biogás produzido pelo aterro, eliminando o metano. Determinou-se experimentalmente a composição e vazão do biogás. As propriedades físico-químicas e a vazão do chorume também foram quantificadas. A vazão de gás foi calculada com informações obtidas da literatura e medida experimentalmente com uma sonda. Realizado um balanço energético para verificar a disponibilidade de energia e um balanço químico, determinando o potencial de emissão de poluentes do ar. Os resultados indicaram que há mais energia presente no gás que a energia requerida para incinerar o chorume. O balanço químico mostrou potencial poluidor abaixo das emissões permitidas pela legislação. Demonstrou através da literatura o potencial de geração de energia elétrica utilizando o biogás como combustível.

### ABSTRACT

A research is being conducted in the sanitary landfill of Sao Carlos, Brazil, a city with 200,000 inhabitants to verify the feasibility of the thermal treatment of the leachate using the landfill gas as the energy source. The composition and flow rate of both the gas and chorume were determined experimentally. To measure the gas flow rate at the wells a probe was developed and its measurements were compared with information obtained in the literature. Energy and chemical balances were made to verify the availability of energy and the process potential for emission of air pollutants. So far, the results show that there are enough energy to make the leachate incineration feasible, but more research is on the way, since the gas flow rate may have a large variation from well to well and not all of them were probed so far. The chemical balance showed that the air pollution potential for the thermal process is small and even with no gas treatment most of the emissions would be lower than required by the environmental legislation.

## INTRODUÇÃO

Vivemos numa sociedade que estimula o consumo e a produção em grande escala. A filosofia do descartável e do excesso de embalagens predomina em diversos setores do mercado o que significa diretamente mais rejeitos. O Brasil produz aproximadamente 240 mil toneladas de lixo por dia, com um crescimento anual em torno de 5%, o que significa que o volume dobra a cada cinco anos. Grande parte do lixo ainda não é coletado, permanecendo junto às residências. A produção de lixo "per capita" hoje é aproximadamente 1kg/hab/dia [1] e há poucos aterros controlados no Brasil. Este valor tende a crescer, tornando a problemática do lixo de difícil manejo e legitimando a necessidade de buscar alternativas eficazes e custo-efetivas. Problemas sérios causados pela precária disposição final do lixo são a disseminação de doenças, a contaminação do solo e das águas subterrâneas por percolato (chorume), a poluição do ar pelo gás metano (efeito estufa) e por compostos de odor como as mercaptanas e a falta de espaço para o armazenamento do resíduo. O resíduo urbano é rico em matéria orgânica, que em contato com o ar começa a sofrer um processo de oxidação, iniciando a degradação progressiva do material. Esse processo é agilizado pela presença de bactérias anaeróbicas nas camadas internas do depósito que ajudam na deterioração do material. A decomposição dos resíduos resulta na produção de gases como metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e outros gases traços que produzem um forte e desagradável odor. Destes gases, o CH<sub>4</sub> e o CO<sub>2</sub> são os mais preocupantes, pois são gases estufa, isto é, gases capazes de absorver energia eletromagnética na mesma faixa do infra-

vermelho em que a Terra emite energia para o espaço ("janela de emissão") para manter seu equilíbrio térmico. Ao contrário do que ocorre nas emissões de veículos e de fontes estacionárias que queimam combustíveis fósseis e onde predomina o efeito do CO<sub>2</sub>, nos gases dos aterros o CH<sub>4</sub> tem uma contribuição muito mais significativa. Isto se dá tanto em razão de, molécula por molécula, este gás ter um efeito estufa cerca de vinte vezes maior do que o do CO<sub>2</sub> como em razão de sua maior fração no biogás. A combustão do biogás em "flares", as vezes feita nos aterros, não é suficiente para eliminar o problema, pois é uma queima sem controle e portanto pouco eficiente. Além disso há vazamentos pela superfície do aterro e possivelmente nas lagoas de chorume. Note-se que CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e outros gases absorvedores no infra-vermelho - dos quais o mais importante é o próprio vapor de água - existem na atmosfera do planeta há milhões de anos e de fato produzem uma temperatura média (15°C) muito mais amena do que seria possível na sua ausência. Um cálculo simples mostra que se a Terra fosse um corpo negro desprovido desta camada gasosa, sua temperatura média seria cerca de vinte graus mais baixa do que realmente é. Ocorre porém que nos últimos duzentos anos a concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e outros gases vem sendo alterada de maneira significativa pelas emissões humanas. O IPCC [2] mostra em seu relatório de 2001 uma elevação da temperatura média em 0,6°C no últimos cem anos. Para colocar este número em perspectiva, pode-se compará-lo com a diferença entre a temperatura do período interglacial atual e a de um período glacial pleno quando o gelo permanente cobre a maior parte da Europa e da América do Norte, que é de cerca de 6 °C. A utilização da energia contida nos gases originados nos

processos de tratamento de resíduos tais como lixo, esgoto e outros é factível [3] e deve, na medida do possível, ser implementada para reduzir à contribuição destes gases para a mudança climática. Aterros sanitários produzem ainda um efluente líquido, o chorume, que é definido pela ABNT como: "líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO; se constitui numa mistura de substâncias inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal, metais e diversas espécies de microorganismos". Este efluente pode contaminar o solo, as águas subterrâneas e os seres vivos que com ele tiverem contato. Este trabalho realizado junto ao NETeF – Núcleo de Engenharia Térmica e de Fluidos da EESC/USP em São Carlos e ao aterro sanitário da cidade, tem como objetivo avaliar a possibilidade e estabelecer os meios para o tratamento do chorume através de sua incineração limpa, utilizando como fonte energética o metano do biogás produzido pelo aterro sanitário. Busca-se desta forma a eliminação simultânea de duas fortes fontes de poluentes. Com relação ao aproveitamento de biogás de aterro , foi implantado recentemente, através do mercado de créditos de carbono do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto pelo protocolo de Kyoto. O primeiro deles refere-se ao aproveitamento do gás gerado em um aterro localizado na cidade de Tremembé, no Estado de São Paulo, onde a empresa SASA – Sistemas Ambientais, que gerencia o local, utiliza o gás desde 2001, para evaporação do chorume do aterro. Um novo projeto prevê a geração de 50 a 80 mil kWh/mês de energia elétrica para suprimento do próprio aterro, que consome em

média 30 mil kWh/mês, sendo o excedente vendido à distribuidora de eletricidade.

## METODOLOGIA

Para estabelecer a aplicabilidade do processo proposto é necessário fazer um balanço de energia onde estão envolvidas a vazão e a composição química do gás (energia disponível) e a vazão, calor específico, calor latente de vaporização e eventualmente poder calorífico residual do chorume (consumo de energia). O processo deve atingir de forma estável temperaturas em torno de 900 °C, consideradas seguras para evitar a formação de poluentes no interior da câmara de combustão [4]. Para determinar quais poluentes do ar seriam potencialmente gerados e que tratamento seria aplicado aos gases da incineração para a sua remoção, é preciso conhecer a composição química do chorume. Nas temperaturas típicas de combustão, o enxofre, por exemplo, forma SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>, o Cl pode formar HCl e organos clorados, metais pesados podem ser emitidos na forma gasosa ou incorporados ao material particulado (MP) e N pode dar origem ao NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>) nascente. Fez-se ainda um estudo preliminar da aplicabilidade da micro filtração como forma de reduzir o teor de água do chorume e assim a sua demanda por energia.

## COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletadas para análise química e física amostras de chorume bruto provenientes do aterro sanitário da cidade. Estas amostras foram retiradas na entrada das lagoas de armazenagem que o aterro utiliza. As amostras foram recolhidas em frascos de vidro, com tampa plástica de rosca, lavados

previamente com uma solução de 50% de ácido concentrado e 50% de água. A temperatura média das amostras, quando do recolhimento foi de 24 °C. Assim que chegadas ao laboratório, as amostras tiveram seu pH aferido (~8) e foram guardadas em geladeira a 4°C, ao abrigo da luz até o momento dos testes. As amostras do biogás foram extraídas utilizando uma mangueira introduzida no interior do tubo dos queimadores de gás do aterro, para evitar sua diluição com ar atmosférico e fazendo a sucção através de uma ampola de vidro cheia de água, equipada com uma torneira em cada uma das suas extremidades de maneira a possibilitar a saída da água e a entrada do gás. A mangueira foi previamente purgada por exposição ao gás.

## PROPRIEDADES DO CHORUME

### VAZÃO

Para determinação da vazão de chorume produzida pelo aterro, utilizou-se um recipiente de coleta de 20 litros e um cronômetro para medida do tempo de enchimento do recipiente. Isto foi feito na entrada das lagoas/reservatórios de chorume.

### PODER CALORÍFICO DO CHORUME

Na determinação do poder calorífico do chorume foi utilizado um calorímetro C 5000 – IKA Labortechnik ( IKA – labortechnik C 5000 control). As amostras foram de 0,5 g de chorume bruto, microfiltrado ou misturado com etanol.

### ANÁLISE DE METAIS PESADOS

A determinação de metais pesados foi realizada através de Espectrometria de Absorção Atômica com o método de adição de padrão. Para tanto, os

padrões foram preparados em meio ácido, aproximadamente 0,1ml de ácido clorídrico, com concentração de metal de 1000 µg/ml e o volume final de 100ml. Na análise de metais pesados utilizou-se um aparelho de absorção atômica marca HITACHI, modelo Z 8100.

## PROPRIEDADES DO BIOGÁS

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na determinação da composição do biogás utilizou-se um cromatógrafo Grow-Mac com detector de condutividade térmica e coluna Poropak Q (2m x 1/2 - 80 a 100 mesh).

### VAZÃO

A vazão de biogás foi estimada baseando-se na massa diária de resíduo disposta no aterro e em CHRISTENSEN et al - 1996. Uma determinação experimental da foi realizada com o uso de uma sonda que foi desenvolvida, construída e calibrada no NETeF. A sonda utiliza elementos de um sistema de anemometria de fio quente DISA 55M System, mas é modificada para fornecer médias espaciais e temporais em lugar da resolução temporal/espacial típica fornecida por este tipo de equipamento.

O detalhamento da sonda e da bancada é demonstrado nas figuras (1) e (2).

## PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS

Assumindo que dentro do processo de incineração o poder do gás metano é de 35,9 MJ/Nm<sup>3</sup>. Foi adotada uma eficiência de conversão em motor de combustão interna acoplada a um gerador elétrico de 33% e uma capacidade de geração de eletricidade anual de 88% devido às perdas e paradas para manutenção dos equipamentos [5]

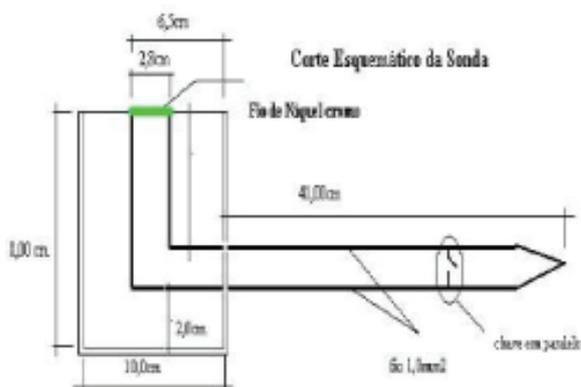


Figura 1 – Corte esquemático da sonda

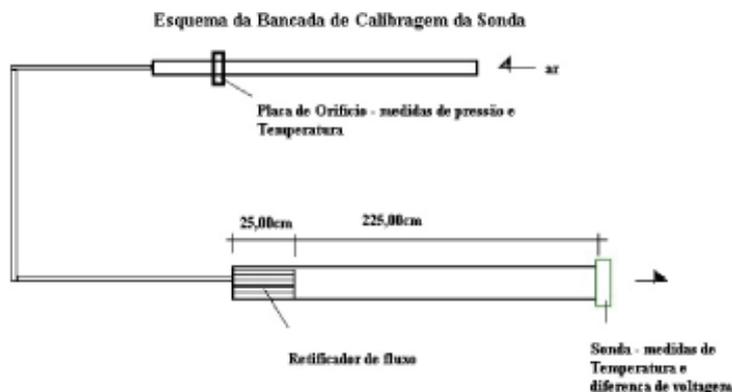


Figura 2 – Esquema da bancada de calibragem da sonda

Queimadores	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Q1	31,5
Q2	32,5
Q3	34,2

Tabela 1 – Valores encontrados na leitura dos queimadores

Elementos	Unidade
Ni	6,47 ppm*
Al	8,67 ppm*
Cr	1,23 ppm*
Cu	0,80 ppm*
Cd	0,10 ppm*
Pb	1,50 ppm*
Fe	26,00 ppm*
Zn	1,20 ppm*
Nitrogênio	1726 mg/kg
Cloro	1332 mg/kg
Flúor	6,00 mg/kg
Enxofre	176 mg/kg
Cinzas	100 mg/kg

Tabela 2 – Principais elementos químicos e cinzas encontrados nas amostras de chorume

Composto	Queimadores de Gás	Lagoas de Chorume
CH <sub>4</sub>	51 %	5,0 %
CO <sub>2</sub>	9 %	1,3 %
N <sub>2</sub>	40 %	93,7 %

Tabela 3 – Teores de metano, dióxido de carbono e nitrogênio do biogás produzido pelo aterro sanitário

## RESULTADOS

### VAZÃO DO CHORUME

A vazão média de chorume no vazadouro foi de 2 m<sup>3</sup>/h ou 48 m<sup>3</sup>/dia. A fórmula utilizada é demonstrada na Equação (1)

$$V = \left( \frac{\text{volume do recipiente}}{\text{tempo de enchimento}} \right) \times 3,6 (\text{m}^3 / \text{hora}) \quad (1)$$

### VAZÃO DO BIOGÁS

As medidas foram realizadas em três queimadores de gás localizado no aterro sanitário, cujos valores encontrados estão demonstrados na Tabela (1).

Os valores da Tensão medidos nos queimadores de biogás, utilizando-se da sonda, foram 7,23, 7,42, e 7,54 Volt, que foram utilizados para a determinação dos valores apresentados na Tabela (1). O valor da vazão de 31,5 m<sup>3</sup>/h, foi encontrado no nível mais inferior, sendo que o valor da vazão de 34,2 m<sup>3</sup>/h foi encontrado no nível superior. O queimador de biogás é um ponto de coleta (convergência) do biogás, representando uma área de produção do biogás. Existem 20 queimadores de biogás em todo o aterro sanitário.

Utilizando um valor médio para a vazão de 32,7 m<sup>3</sup>/h, teremos uma produção de 654 m<sup>3</sup>/h de biogás.

### PROPRIEDADE DO CHORUME

O chorume possui um poder calorífico semelhante ao da água. A Tabela (2) demonstra o resultado da análise realizada nas amostras do chorume.

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO BIOGÁS

A composição encontrada deve conferir ao biogás um Poder Calorífico (PC) em torno de 35 MJ/kg. Como comparação, o PC do etanol é de 26,8 MJ/kg. Os valores encontrados estão demonstrados na Tabela (3).

### ENERGIA DISPONÍVEL

O estado de referência de 25°C e 0,1 MPa para reagentes, o que representa bem o estado do biogás e de seu ar de combustão. Admitindo que os reagentes gasosos se comportem como gases perfeitos entre o estado de referência e o estado considerado, a entalpia de reagentes e produtos passa a ser uma função exclusiva da temperatura e pode

ser determinada em qualquer condição de interesse utilizando-se as correlações disponíveis na literatura para o calor específico dos gases à pressão constante.

## CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

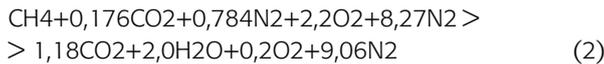
Forma adotadas as seguintes condições para a conservação da energia:

3.6.1 - Excesso de ar:  $\bar{\epsilon} = 1,10$ , ou seja 10 % de excesso de ar. Nesta condição tem-se ar suficiente para combustão virtualmente completa e evita-se a perda de energia pelo excesso de gases aquecidos;

3.6.2 -  $T = 900^\circ \text{C}$ . Esta é uma temperatura elevada o bastante para destruir compostos orgânicos perigosos e baixa o suficiente para evitar a formação expressiva de  $\text{NO}_x$ .

## EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO

A Equação (2) para a combustão completa de um mol de metano, considerando a composição do biogás e o coeficiente de excesso de ar  $\bar{\epsilon} = 1,10$  é:



## EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A conservação da Energia é demonstrada na Equação (3):[6]

$$Q_D = \sum P n_s (h_f + \Delta h_s) - \sum R n_e (h_f + \Delta h_e) \quad (3)$$

## CÁLCULO DA ENERGIA DISPONÍVEL

A determinação da vazão e da composição do biogás do aterro permitiu fazer-se um cálculo do potencial energético para a incineração do chorume. Utilizando a equação da energia (4):

$$Q_D = \sum_p n_s (h_f + \Delta h_s) - \sum_r n_e (h_f + \Delta h_e) \quad (4)$$

## REAGENTES

Como a condição assumida para os reagentes é a padrão ( $T=25^\circ\text{C}$ ), a correção da entalpia é nula para todos eles. Da mesma forma, a entalpia de formação é nula para as formas mais estáveis do oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ).

Demonstrados na equação (5) e Tabela (4).

$$h_R = \sum R n_i (h_i + \Delta h_i) = 1,00 (h_f \text{CH}_4 + 0,0) + 0,176 (h_f \text{CO}_2 + 0,0) + 9,06 (0,0+0,0) + 2,20 (0,0+0,0) \quad (5)$$

Composto	n (kmol/kmol $\text{CH}_4$ )	$h_f$ (kJ/kmol)	$\Delta h$ (kJ/kmol)	$n(h_f + \Delta h)$ (kJ/kmol)
$\text{CH}_4$	1,000	-74873	0,0	-74873
$\text{CO}_2$	0,176	-393522	0,0	-69260
$\text{N}_2$	9,060	0	0,0	0,0
$\text{O}_2$	2,200	0	0,0	0,0
<b>Total</b>				<b>-144133</b>

Tabela 4 – Entalpias de formação e correções para os reagentes a  $25^\circ \text{C}$  e 0,1 Mpa

## PRODUTOS

A correção da entalpia dos produtos de combustão é feita segundo a Equação A correção da entalpia dos produtos de combustão é feita segundo a Equação (6):

$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} c_p dt \quad (6)$$

As correlações para o cálculo do calor específico dos produtos de combustão são fornecidas pelas equações (7) a (10), onde  $\theta = T(\text{Kelvin})/100$ . [2]

$$\text{CO}_2 : \bar{c}_{p_{\text{CO}_2}} = -3,7357 + 30,529\theta^{0,5} - 4,1034\theta + 0,024198\theta^2 \quad (7)$$

$$\text{H}_2\text{O}: \bar{c}_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 143,05 - 183,54\theta^{0,25} + 82,751\theta^{0,5} - 3,6989\theta \quad (8)$$

$$\text{O}_2 : \bar{c}_{p_{\text{O}_2}} = 37,432 + 0,020102\theta^{1,5} - 178,57\theta^{-1,5} + 236,88\theta^{-2} \quad (9)$$

$$\text{N}_2 : \bar{c}_{p_{\text{N}_2}} = 39,060 - 512,79\theta^{-1,5} + 1072,7\theta^{-2} - 820,40\theta^{-3} \quad (10)$$

A Equação (11) mostra o cálculo da entalpia dos produtos de combustão e a Tabela (5) traz o valor de cada um de seus termos.

$$h_P = \sum_p n_i (h_i + \Delta h_i) = 1,176 (h_{f\text{CO}_2} + \Delta h_{\text{CO}_2}) + 2,00 (h_{f\text{H}_2\text{O}} + \Delta h_{\text{H}_2\text{O}}) + 0,20(0,0 + \Delta h_{\text{O}_2}) + 9,06(0,0 + \Delta h_{\text{N}_2}) \quad (11)$$

Compound	n (kmol/kmol $\text{CH}_4$ )	$h_f$ (kJ/kmol)	$\Delta h$ (kJ/kmol)	$n(h_f + \Delta h)$ (kJ/kmol)
$\text{CO}_2$	1,18	-393522	42900	-413733
$\text{H}_2\text{O}$	2,00	-241826	33360	-416932
$\text{O}_2$	0,20	0	28787	5757
$\text{N}_2$	9,06	0	27240	246794
<b>Total</b>				<b>-578114</b>

Tabela 5 – Entalpias de formação e correções para os produtos a  $900^\circ \text{C}$  e 0,1 Mpa

Portanto, a energia disponível é:

$$Q_D = -144133 - (-578114)$$

$$Q_D = 433981 \text{ kJ/kmol CH}_4$$

A energia requerida por kg de chorume incinerado é

$$Q_R = c_{pa} (100 - T_R) + h_w + c_{pv} (T_p - T_R) \quad (12)$$

$$c_{pv} = \frac{(143,05 - 183\theta^{0,25} + 82,751\theta^{0,5} - 3,6989\theta)}{18(T_p - T_R)} \quad (13)$$

$$c_{pv} = 2,14 \text{ kJ/kg K} \quad c_p = 4,18 \text{ kJ/kg K}$$

$$h_w = 2257 \text{ kJ/kg} \quad Q_R = 4443,4 \text{ kJ/kg de chorume}$$

Assim a razão em massa ( $R_m$ ) de chorume incinerada por kmol de CH<sub>4</sub> é:  
 $R_m = -Q_D / Q_R = 97,6 \text{ kg de chorume / kmol CH}_4$

A razão em volume de chorume:  $\rho_{ch} = 1000 \text{ kg / m}^3$

$$R_{vch} = \frac{R_m}{\rho_{ch}} \quad (14)$$

$$R_{vch} = 0,097 \text{ m}^3 \text{ de chorume / kmol CH}_4$$

A razão entre o volume de chorume incinerado e o volume de metano necessário para isto é calculada levando em consideração o volume de um kmol de gás ideal e resulta:

$$v_{mol} = 22,6 \text{ m}^3/\text{kmol} \rightarrow R_v = \frac{R_{vch}}{v_{mol}} \quad (15)$$

$$R_v = 4,31 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ chorume / Nm}^3 \text{ de CH}_4$$

Produção de CH<sub>4</sub> - Admitiu-se para a produção de gás um valor conservador de:

$$R_{CH_4} = 13 \text{ Nm}^3 \text{ de CH}_4 / \text{t de resíduo}$$

A massa diária de resíduo levada ao aterro é:  $m_{Res} = 130 \text{ t/dia}$

Resulta portanto uma vazão por hora de:

$$V_{ZCH_4} = \frac{m_{Res}}{24} \cdot R_{CH_4} \quad (16)$$

$$V_{ZCH_4} = 70,41 \text{ m}^3/\text{h} \quad (17)$$

A vazão incinerável de chorume ( $V_{chl}$ ) obtém-se pelo produto da produção de biogás ( $V_{ZCH_4}$ ) pela razão entre o volume de chorume incinerado e o volume do metano ( $R_v$ ) -  $V_{chl} = 0,30 \text{ m}^3 \text{ chorume / h}$

Este volume é considerável a vazão medida do chorume de 2 m<sup>3</sup>/h, ou 48 m<sup>3</sup> por dia, medida em um dos drenos que abastecem a lagoa de chorume. Existe ainda outro dreno submerso a este, que não foi possível ser avaliado.

## POTENCIAL DE EMISSÕES

Na incineração são produzidos gases efluentes que contêm substâncias poluentes originárias do processo, tais como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), cloreto de hidrogênio (HCl) e fluoreto de hidrogênio (HF). Da equação da combustão, temos o valor da descarga molar de PC por mol de CH<sub>4</sub>: **PC = 12,44 mol PC/ mol de CH<sub>4</sub>**

Substância	Legislação	Valor encontrado (CNTP)
HCl	80,0 mg/Nm <sup>3</sup>	493,62 mg HCl/m <sup>3</sup>
HF	5,0 mg/Nm <sup>3</sup>	2,33 mg HF/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	280,0 mg/Nm <sup>3</sup>	123,2 mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
NO	560,0 mg/Nm <sup>3</sup>	1294,5 mg NO/m <sup>3</sup>
Cd		0,035 mg/m <sup>3</sup>
Total Classe 1	0,28 mg/Nm <sup>3</sup>	0,035 mg/m <sup>3</sup>
Ni		2,26 mg/m <sup>3</sup>
Total Classe 2	1,4 mg/Nm <sup>3</sup>	2,26 mg/m <sup>3</sup>
Pb		0,45 mg/m <sup>3</sup>
Cr		0,43 mg/m <sup>3</sup>
F		2,10 mg/m <sup>3</sup>
Cu		0,28 mg/m <sup>3</sup>
Total Classe 3	7,0 mg/Nm <sup>3</sup>	3,26 mg/m <sup>3</sup>

Tabela 6 – Comparação dos valores encontrados com a legislação

## LIMITE DE EMISSÕES LEGAIS

Os valores encontrados no cálculo de emissões e os valores legais estão demonstrados na Tabela (6):[7]

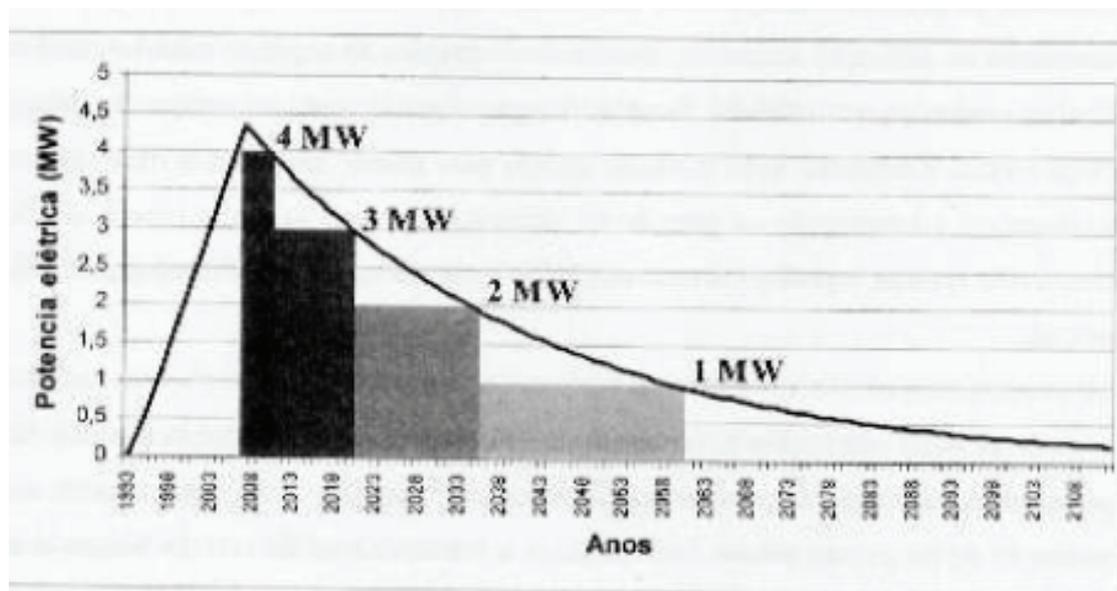
Observa-se pelos valores da Tabela (6), que algumas substâncias originadas na incineração necessitam de tratamento. Hoje existem vários métodos de tratamento de gases efluentes que podem ser utilizados para estas emissões.

## GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir de valores de produção de metano pode ser gerada uma curva de potência elétrica fornecida pelo biogás do aterro, também utilizando-se os dados da seção 2.3.2., demonstrada na figura (5). Os dados referentes a produção de biogás para este cálculo foi utilizado o do aterro Delta de Campinas – São Paulo.[8]

O estudo realizado [8] demonstrou que a energia elétrica fornecida pelo aterro Delta (Campinas – São Paulo) seria suficiente por exemplo para abastecer 8.200 residências com um

Figura 3 – Simulação das etapas de aproveitamento do biogás do aterro para a geração de energia elétrica com motores a plena carga.



consumo médio de 350 kWh/mês durante os quatro primeiros anos de funcionamento da planta.

## REFERÊNCIAS

- [1] PACEY, J.G. (1986). The Factors influencing landfill gas production. In: ENERGY FROM LANDFILL GAS CONFERENCE, 1986., Solihull. *Proceedings...* England: Elsevier. p.51-59.
- [2] INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2001: A Scientific Basis (Chapter 6)*. Disponível no site : [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/). Acesso em 15 jan de 2002
- [3] PAGLIUSO, J.D.; PASSIG, F.H.; VILLELA, L.C.H. (2002). Odour treatment and energy recovery in anaerobic sewage treatment plants. In: TALLER Y SIMPOSIUM LATINO AMERICANO SOBRE DIGESTION ANAEROBIA, 7, 2002, Mérida. *Proceedings...* México: IWA. p.96-110.
- [4] SINDICIC, D.R. (2002). *Efeitos da adição de O<sub>2</sub> puro sobre as emissões poluentes produzidas na incineração industrial de resíduos perigosos*. 110p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Orientador – PAGLIUSO, J.D.) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- [5] USEPA (1998). *Greenhouse gases emission of management of municipal solid waste*. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 14 Ago.2002.
- [6] SONNTAG, R.E.; BORGNACKE, C.; WYLEN, G.J.V. (1998). *Fundamentos da termodinâmica*. São Paulo: Edgard Blücher.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1990). **NRB 11175**: Incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho. Rio de Janeiro.
- [8] ENSINAS, A. V. (2003). *Estudo da Geração de biogás no aterro sanitário Delta dem Campinas – SP129p*. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica – Orientador – BIZZO, W. A.) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.
- [9] CHRISTENSEN, T.H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (1996). *Landfilling of waste: biogas*. London: E & FN Spon.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq