

## O ATERRO DA CATURRITA EM SANTA MARIA – RS: UMA ATUALIZAÇÃO QUANTO AOS POTENCIAIS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Tiago Luis Gomes\*, Gino Roberto Gehling

Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil.

\*E-mail: [tiago.gomes@ufrgs.br](mailto:tiago.gomes@ufrgs.br)

Recebido em 22 de junho de 2009

Aceito em 14 de dezembro de 2009

### RESUMO

As oportunidades do processo de digestão anaeróbia, em aterros sanitários e controlados, são ligadas à formação de biogás através da biodegradação da matéria orgânica em ambiente predominantemente anaeróbio. Com isso, através de um ajuste de capacidade do aterro da Caturrita em Santa Maria-RS, que consiste no produto entre a massa de resíduos (467.929 toneladas) que comporta a célula e o fator de recuperação do gás metano (RF=0,7), sendo o mesmo relacionado, principalmente ao percentual de resíduos domésticos que chegam ao aterro (alto teor de matéria orgânica de fácil degradação), obteve-se um aproveitamento potencial de 327.550 toneladas de resíduos depositados, resultando num aterro com baixa capacidade de produção de biogás. A recuperação total do metano entre 2013 e 2033, considerando um rendimento na captação de gases de 70%, resultou 17.529.657m<sup>3</sup>, através da utilização do método Scholl Canyon. O total da receita estimada para o mesmo período, admitindo uma comercialização conservadora (aterro Bandeirantes em São Paulo que é de € 19,20) de créditos de carbono em € 10,00 por tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>), e energia elétrica em um valor de € 0,0326/kWh que é referência para o projeto NovaGerar no Rio de Janeiro, seria de € 3.604.650, ou em torno de R\$ 11.030.229, isto é, um faturamento mensal de R\$ 45.960,00.

**Palavras-chave:** metano, biogás, créditos de carbono, geração de energia.

### 1 Introdução

Entre os anos de 2003 e 2005, foram realizadas avaliações quali-quantitativas a respeito dos líquidos percolados no aterro controlado da Caturrita do município de Santa Maria – RS. Estas pesquisas culminaram em publicações em congressos e uma dissertação de mestrado. Devido à significativa demanda de mecanismos de desenvolvimento limpo e de sustentabilidade, atualizou-se a pesquisa, inserindo no contexto os potenciais da digestão anaeróbia para possível exploração.

Através do levantamento de dados do aterro controlado da Caturrita pretendeu-se, com estimativas obtidas por meio de cálculos de geração do metano proveniente dos resíduos, obter a receita estimada devido ao processo da queima do metano - créditos de carbono - e do aproveitamento energético do composto calorífico que é gerado pelo aterro.

Trabalhos semelhantes também foram realizados por McBean et al. [1] e Machado et al. [2], os primeiros encontrando uma produção de metano na ordem de 167 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduo em aterro argentino e os segundos em experimentos de laboratório obtiveram geração do metano de 70 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduos em aterro brasileiro na Bahia, contudo, os últimos fazem referência que são valores inferiores ao que se encontra na bibliografia, devido provavelmente a alta umidade presente em relação a disponibilidade de matéria orgânica biodegradável.

### 2 Revisão Bibliográfica

#### 2.1 O biogás, suas variáveis e potenciais

Os gases que compõem o biogás são o amoníaco (NH<sub>3</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO),

hidrogênio (H<sub>2</sub>), gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), metano (CH<sub>4</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), sendo o metano e o dióxido de carbono os principais gases encontrados. O CH<sub>4</sub>, por sua vez é uma importante fonte de energia e, ao mesmo tempo, é um dos gases que contribuem significativamente para o efeito estufa, sendo 21 vezes mais agressivo que o CO<sub>2</sub>. Na Tabela 1, conforme Tchobanoglous *et al.* [3] são mostradas as distribuições percentuais mais comuns em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU).

De maneira geral a presença de CH<sub>4</sub> deve-se ao percentual de material orgânico de fácil degradação na massa de resíduos. Gomes [4] verificou que em alguns municípios brasileiros, a composição dos RSU gerados é semelhante, devido à presença elevada de matéria orgânica, enquanto em cidades como Davis (EUA) e Osaka (Japão) ocorrem baixos percentuais de matéria orgânica e elevadas gerações de descartáveis. A Tabela 2 apresenta a composição gravimétrica dos RSU em algumas cidades do Brasil e do mundo [5].

O potencial preliminar de produção do biogás segundo o Banco Mundial [6], pode ser estimado através do exemplo da Figura 1, onde é determinado o fator de ajuste a partir do diagrama triangular. Após, o aterro é classificado como seco ou molhado, sendo que no primeiro caso a decomposição será mais lenta e conseqüentemente a geração do biogás mais demorada. Esta classificação é função principalmente da quantidade de chuvas da região. A baixa permeabilidade do material de cobertura, ou ainda, a incidência de precipitação inferior a 635mm por ano, determina um aterro seco.

Tabela 1: Composição do biogás presente em aterros de RSU

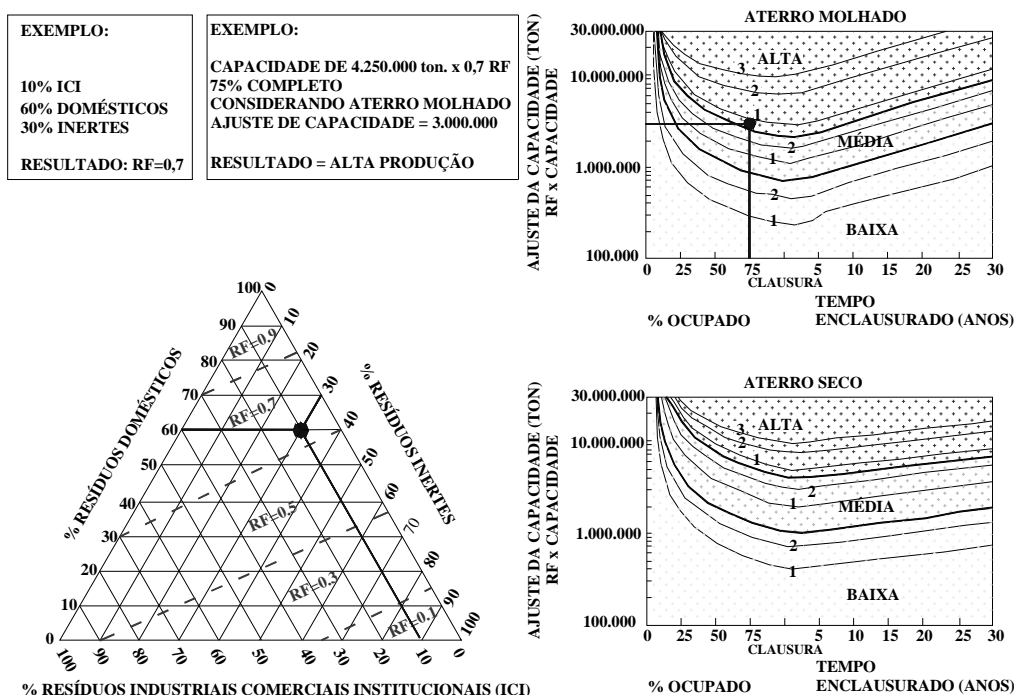
Componentes	Porcentagem (base volume seco)
CH <sub>4</sub>	45 – 60
CO <sub>2</sub>	40 – 60
N <sub>2</sub>	2 – 5
O <sub>2</sub>	0,1 – 1,0
CO	0 – 0,2
NH <sub>3</sub>	0,1 – 1,0
H <sub>2</sub>	0 – 0,2
Sulfetos, disulfetos, mercaptanos, etc.	0 – 1,0
Constituintes em quantidades traço	0,01 – 0,6

Fonte: Tchobanoglous *et al.*, 1994.

Tabela 2: Composição gravimétrica dos RSU

Resíduos (%)	Brasil (1999)	Santa Maria, RS (1999)	Porto Alegre, RS (1994)	São Carlos, SP (1989)	Caxias do Sul, RS (1991)	Davis, EUA (1990)	Osaka, Japão (1989)
<b>Matéria Orgânica</b>	67,0	57,0	58,6	56,7	53,4	6,4	11,7
<b>Papéis</b>	19,8	20,0	21,3	21,3	21,0	41,0	35,7
<b>Plásticos</b>	6,5	8,0	8,4	8,5	8,9	10,7	20,3
<b>Vidros</b>	3,0	2,0	1,3	1,4	2,6	5,8	7,1
<b>Metais</b>	3,7	5,0	4,4	5,4	5,4	7,9	5,3
<b>Outros</b>	-	8,0	6,0	6,7	8,7	28,2	19,9

Fonte: Revista Ciência & Meio Ambiente, 1999.



Fonte: Banco Mundial (2003).

Figura 1: Caracterização preliminar de aterros sanitários para projetos de geração de energia através do biogás, com fator de recuperação do gás "RF" igual a 0,7.

Em trabalho de Brito Filho [7] é elaborado um apanhado de várias referências que podem ser sintetizadas da seguinte forma: na composição dos resíduos, quanto maior o percentual de matéria orgânica de fácil degradação e menor o percentual de inertes, maior será a tendência de geração de biogás; quanto menor a umidade da massa de resíduos menor será a produção; partículas pequenas são propícias para a formação do gás de aterro devido a maior superfície específica, facilitando os mecanismos de degradação; o pH é um parâmetro importante, pois os organismos anaeróbios desenvolvem-se na faixa da neutralidade, isto é, entre 6 e 8; a temperatura é outro fator interveniente, porque deve oscilar numa faixa entre 30 e 60 °C para não limitar a atividade anaeróbia.

Há ainda, outros fatores que podem influenciar a produção do biogás, como a idade dos resíduos, os nutrientes, bactérias, potencial oxidação-redução, densidade da produção gás, compactação dos resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro.

Entre as justificativas para incentivo da utilização do CH<sub>4</sub> de aterros sanitários é que a queima do biogás, drenado do aterro, diminui as conseqüências indesejáveis à atmosfera - aumento do efeito estufa - pela transformação do CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub> e em água no estado de vapor, além de, segundo Bancor, *apud* Barros e Lemme [8], ter um alto poder calorífico de 5.100 kcal por Nm<sup>3</sup>, maior do que o quilo de lenha (2.500 kcal) e do que o quilo de bagaço de cana (1.750 kcal), sendo superado apenas pelos combustíveis fósseis, como carvão vegetal, óleo diesel, gás natural e óleo combustível.

## 2.2 A estimativa de produção de biogás pelo método Scholl Canyon

Os modelos tornam-se ferramentas úteis para se avaliar as produções de gás de aterro, pois se estima a viabilidade de implantação de unidades que explorem tanto a comercialização de créditos de carbono quanto a geração de energia elétrica proveniente dos resíduos sólidos urbanos.

Entre os modelos existentes na bibliografia e sugeridos por Brito Filho [7] e Ham [9] um dos mais consagrados e aceito pelo Banco Mundial para estimar a vazão de gás de um aterro é o Scholl Canyon. A heterogeneidade dos RSU determina uma série de fatores complexos para a medição real do potencial de biogás que pode ser produzido, embutindo igualmente aos modelos matemáticos erros da mesma ordem, com isso, a importância de utilização dos modelos simplificados, que oferecem vantagens em sua aplicação.

Baseado no critério de que há frações biodegradáveis constantes de primeira ordem por unidade de tempo no aterro, a equação que descreve o modelo é a seguinte:

$$Q_{(CH_4)}i = k.L_0.m_i.e^{-k.t_i}$$

onde:

$Q_{(CH_4)}i$  = CH<sub>4</sub> produzido no ano “i” a partir da seção “i”;

k = Constante da geração de CH<sub>4</sub>;

L<sub>0</sub> = Potencial da geração de CH<sub>4</sub>;

m<sub>i</sub> = Massa de resíduo despejada no ano “i”;

t<sub>i</sub> = tempo em anos após o fechamento do aterro.

A aplicação do modelo requer conhecimento das características do aterro para que não ocorra distorção dos resultados. O emprego deste instrumento por instituições que elaboram projetos para agências financiadoras é corriqueiro nos países da América Latina e Caribe. Na Tabela 3 são apresentados os valores de “k” recomendados, em função da precipitação.

Para os valores de “L<sub>0</sub>”, que são estimados com base no conteúdo de carbono dos resíduos, segundo o Banco Mundial [6], recomenda-se utilizar o valor de 170m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por tonelada de resíduo (a favor da segurança de projeto), alterando estes status quando houver conhecimento pleno das entradas de inertes e relativamente inertes. Na Tabela 4 são mostrados os valores de “L<sub>0</sub>” sugeridos.

## 2.3 O potencial da comercialização de créditos de carbono e recuperação de energia

Com a intenção de implantar um modelo de aterro sanitário no Brasil, foi elaborado o Projeto NovaGerar [10], pela companhia S.A. Paulista. Segundo Barros e Lemme [8], o projeto contempla o aterro de Marambaia e o de Adrianópolis, situados no município de Nova Iguaçu – RJ. O primeiro é um lixão com etapas definidas para sua recuperação. O segundo é um aterro sanitário moderno com potenciais energéticos superiores ao de Marambaia.

O acordo inicial estimava a venda de 2,5 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> entre os anos de 2004 e 2012, perfazendo € 8,5 milhões em certificados de redução de emissões, através da energia contida no biogás ou da sua queima controlada. O negócio é amparado num contrato que previa um valor de € 3,35 por tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> no início da operação, contudo atualmente está majorado no mercado internacional.

Semelhante ao município de Nova Iguaçu, em Setembro de 2008, a prefeitura de São Paulo [11] realizou leilão público para comercialização das reduções de crédito de carbono dos aterros Bandeirantes e São João. O valor final de venda situou-se em € 19,20 por crédito de carbono, em leilão vencido pela Mercuria Energy Trading de Genebra (Suíça).

Barros e Lemme [8], apresentaram dados específicos a respeito dos valores projetados para os aterros de Marambaia e Adrianópolis. Considerando os € 3,35 por crédito de carbono, devido à queima de 7.914.603 toneladas do CH<sub>4</sub>, a arrecadação total com os créditos de carbono seria de € 26.513.920 até 2022. Já os custos estimados estariam na

ordem de € 15.741.444 para o mesmo período, considerando a implantação, operação e recuperação dos aterros sanitários de Marambaia e Adrianópolis.

Brito Filho [7], faz referência à recuperação dos gases em instalações pequenas (até 5 MW), onde é comum utilizar motores de combustão interna que usam combustíveis ou turbinas de gás. Em motores tipo êmbolo, é necessário processar o gás de aterro para separar toda a umidade possível, de forma que sejam minimizados os danos para as cabeças dos

cilindros. Se o gás contiver H<sub>2</sub>S, a temperatura de combustão deve ser controlada cuidadosamente a fim de evitar problemas de corrosão, passando o gás de aterro através de uma depuradora que contenha limalha de ferro. Na Tabela 5 é possível verificar o custo comparativo entre tecnologias de recuperação de biogás para a transformação de energia

Tabela 3: Valores de “k”

Precipitação Anual	Valores de k		
	Relativamente Inerte	Moderadamente Degradável	Altamente Degradável
<250 mm	0,01	0,02	0,03
>250 e <500 mm	0,01	0,03	0,05
>500 e <1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

Fonte: adaptado de Banco mundial (2003).

Tabela 4: Valores de “L<sub>0</sub>”

Categoria do Resíduo	L <sub>0</sub> mínimo (m <sup>3</sup> /t)	L <sub>0</sub> máximo (m <sup>3</sup> /t)
Resíduo relativamente inerte	5	25
Resíduo moderadamente degradável	140	200
Resíduo altamente degradável	225	300

Fonte: adaptado de Banco mundial (2003).

Tabela 5: Custo comparativo entre diferentes sistemas de recuperação de biogás

Tecnologia/Usa	Custo Capital (\$/kW)	Custo de operação e manutenção (\$/kWh)
Máquina de combustão interna/Geração elétrica	900 a 1200	0,013 a 0,020
Turbina a gás/Geração elétrica	1000 a 1500	0,01 a 0,015
Turbina a vapor/Geração elétrica	900*	0,001*
Aquecedor/Calor direto	1000 a 1500	0,005 a 0,018
Classificação orgânica/Recuperação calorífica	1000 a 1500	0,005
Célula de combustível/Geração elétrica	+3000**	ND***

Fonte: adaptado de Brito Filho (2005).

\*dólares de 1993. \*\*dólares de 1995 - dólares, usando tecnologia de 1995. \*\*\*Não disponível

As temperaturas de combustão, para recuperação do gás de aterro e conversão em energia também são importantes, uma vez que ocorra a presença de carbonos orgânicos voláteis que podem contaminar o ar. As instalações modernas são aptas a operar com incineração dos gases em 815°C durante um tempo de residência entre 0,3 e 0,5 segundos.

Em trabalho de Brito Filho [7], são apresentadas características de aproveitamento do biogás para geração de energia, onde os motores de combustão interna são mais econômicos, permitindo produzir de 1 a 3 MWh com o suprimento de biogás. Acima deste valor, as turbinas a gás são mais interessantes do ponto de vista financeiro, contudo apresentam perdas na ordem de 17% quando subalimentadas. Como mostrado na Tabela 5, os motores de combustão interna são competitivos financeiramente. Além disso, são eficientes

apresentando alto grau de padronização e facilidade de transporte para outro aterro. Quanto às desvantagens, pode-se citar a emissão de óxidos de nitrogênio (NOx).

#### 2.4 Área em estudo: o aterro em Santa Maria – RS

O Aterro Controlado da Caturrita insere-se no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Ferreira, fazendo parte do município de Santa Maria – RS. O local onde está instalado o aterro, encontra-se posicionado entre as coordenadas 29°39'43" de latitude Sul e 53°52'30" de longitude Oeste do meridiano de Greenwich, com cotas altimétricas entre 76 e 98m, segundo a empresa TOPOGRAPHIA & PLANEJAMENTO RURAL S/C LTDA [12]. Esta área está situada no Bairro Caturrita, aproximadamente 7 km do centro

da cidade de Santa Maria - RS. O aterro controlado possui 374.435,72 m<sup>2</sup> e sua área recente de disposição final de resíduos sólidos urbanos corresponde a 37.429 m<sup>2</sup>. Esta última está representada na Figura 2, onde foi realizado um balanço hídrico em trabalho anterior. Contudo no presente trabalho o objetivo é avaliar, na mesma área, os potenciais de geração de biogás.

Conforme dados da Secretaria Municipal de Gestão Ambiental de Santa Maria [13], a área de disposição de RSU foi utilizada durante aproximadamente 24 anos e recentemente enclausurada. Inicialmente, a Prefeitura Municipal operava o sistema de coleta e disposição dos resíduos com ausência de técnicas de engenharia para seu tratamento. Nos últimos anos o serviço foi terceirizado, culminado em melhores técnicas de tratamento e disposição final, entretanto insuficientes para transformar o local em um Aterro Sanitário. Nos últimos anos de operação, o aterro recebia cerca de 150 t/dia de RSU.

Nos aspectos climáticos, trata-se de uma região subtropical de chuvas durante quase todo o ano. Os dados de precipitação entre 1970 e 2004 e cedidos pela Fepagro-RS [14] são apresentados na Tabela 6.

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 O potencial preliminar da produção de biogás do aterro da Caturrita

Ainda que a operação do aterro venha desde a década de 80, na época em que a área era um lixão, o potencial preliminar do biogás foi obtido a partir da quantidade de resíduos que foram dispostos entre 1998 e 2008 na sua última célula. Segundo dados da prefeitura municipal de Santa Maria [13], os RSU totalizaram 467.929 toneladas, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 6: Precipitação para o Município de Santa Maria - RS

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médias	Totais
Precipitação 1970 – 2004	145	123	142	149	120	143	148	117	133	153	127	125	135,3	1.623

Fonte: adaptado de Gomes, 2005.

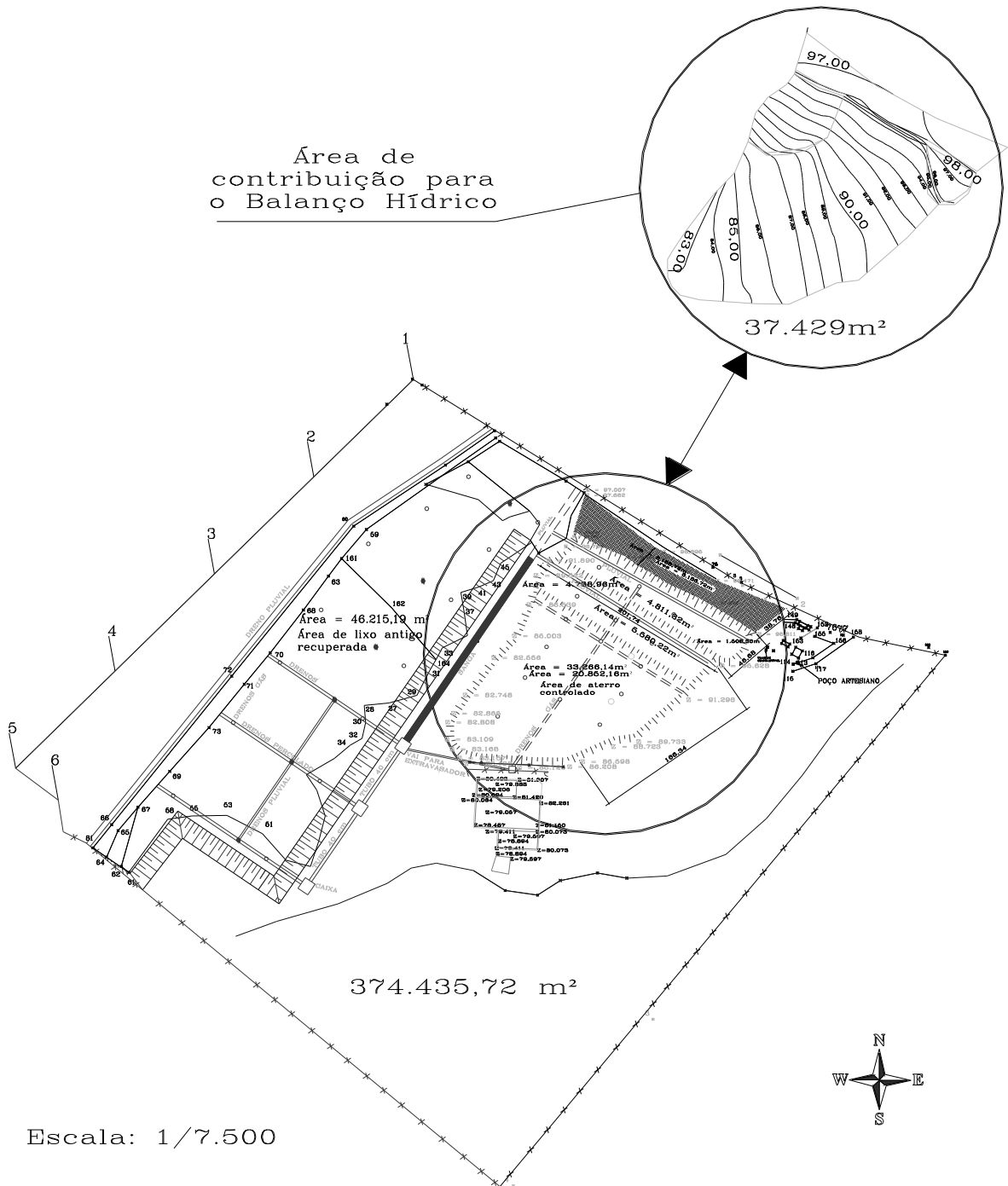
Tabela 7: Estimativa populacional e de geração de RSU para o município de Santa Maria-RS

Ano	População	RSU (t/d)	RSU (t/ano)
2008	265.939	155	49.064
2007	263.203	153	48.559
2006	260.467	152	48.055
2005	257.732	150	47.550
2004	254.996	148	47.045
2003	252.260	147	46.541
2002	249.525	145	46.036
2001	246.789	144	45.531
2000	244.053	142	45.026
1999	241.318	140	44.522
<b>Total Estimado de Resíduos Sólidos Urbanos (toneladas)</b>			<b>467.929</b>

#### 3.2 A Estimativa de Produção de biogás no aterro da Caturrita pelo método Scholl Canyon

As referências do Banco Mundial [6], Brito Filho [7] e Ham [9], McBean *et al.* [1] e Machado *et al.* [2], utilizaram o modelo Scholl Canyon para a obtenção da estimativa de geração do biogás e descrevem que é um dos métodos mais aceitos em projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo

pela sua praticidade e facilidade na utilização. Portanto, definiu-se este para simular a produção de metano no aterro da Caturrita em Santa Maria – RS, onde foram definidos alguns parâmetros de entrada de maneira conservadora, e recomendados conforme os autores. A Tabela 8 mostra os parâmetros utilizados no modelo.



Fonte: Topographia & Planejamento Rural S/C Ltda, 1999.

Figura 2: Planta baixa do Aterro da Caturrita com sua área total e recente de disposição final de RSU.

Tabela 8: Parâmetros considerados para estimar a produção e recuperação do biogás no aterro da Caturrita em Santa Maria –RS.

Modelo Scholl Canyon	
Parâmetros de Entrada	Aterro da Caturrita
Quantidade de Resíduos 1999-2008 (t)	467.929
Constante da geração de CH <sub>4</sub> (ano <sup>-1</sup> )	0,05
Potencial de geração do CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /t)	170
Ano de abertura da célula do aterro	1999
Ano de encerramento da célula do aterro	2008
Fator de recuperação do biogás assumido (%)	70

A constante e o potencial de geração do CH<sub>4</sub> foram definidos, conforme recomendações do Banco Mundial [6] e Ham [9], por se tratarem de coeficientes a favor da segurança de projeto em relação à viabilidade técnico-financeira. De forma semelhante ocorre com o fator de recuperação do biogás, onde se houvesse uma consideração de 50% seria demasiadamente conservadora, enquanto 70%, segundo Banco Mundial [6] e Ham [9], é plenamente alcançável.

Com a definição dos coeficientes da Tabela 8, é possível modelar a produção e a recuperação estimada para o CH<sub>4</sub>, baseando-se na equação que descreve o modelo Scholl Canyon.

$$Q_{(CH_4)_i} = k \cdot L_0 \cdot m_i \cdot e^{-k \cdot t_i}$$

onde:

$Q_{(CH_4)_i}$  = CH<sub>4</sub> produzido no ano “i”;

k = Constante da geração de CH<sub>4</sub>;

L<sub>0</sub> = Potencial da geração de CH<sub>4</sub>;

m<sub>i</sub> = Massa de resíduo despejada no ano “i”; e

t<sub>i</sub> = tempo em anos após o fechamento do aterro.

### 3.3 A comercialização de créditos de carbono e recuperação de energia

Com base na experiência de projetos elaborados para o Banco Mundial [6], avaliou-se o potencial existente na demanda por créditos de carbono no mercado internacional e na exploração da geração de energia a partir dos RSU do aterro.

Para o potencial de comercialização dos créditos de carbono, calculou-se os equivalentes de CO<sub>2</sub>, a partir da densidade de 0,72 kg/m<sup>3</sup> do CH<sub>4</sub>, multiplicando a mesma pelo volume disponível de CH<sub>4</sub> num ano (m<sup>3</sup>/ano) e por 21 que é a quantidade de vezes que o CH<sub>4</sub> é mais poluidor do que o CO<sub>2</sub>. Considerando ainda os anos de operação do sistema entre 2013 e 2033, onde a unidade obtida em quilogramas deve ser expressa em toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, que equivale a um crédito de carbono.

Para obter o potencial elétrico, a metodologia utilizada foi o equacionamento do produto entre vazão do CH<sub>4</sub> recuperado em m<sup>3</sup>/dia, pelo poder calorífico inferior do biogás

em kcal/m<sup>3</sup>, pelo percentual de rendimento elétrico da tecnologia em %, parâmetros expressados na equação a seguir:

$$PE = Q_{\text{biogás}} \times PCI_{\text{biogás}} \times \eta_{\text{gerador}} \times 4,1868 / 86.400$$

Os coeficientes da equação são fatores de conversão de unidades para que o potencial elétrico “PE” seja expresso em quilowatts “kW”.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Os resultados do potencial preliminar da produção de biogás do aterro da Caturrita

Sabe-se que entre 1999 e 2008, como apresentado na Tabela 7, produziu-se em Santa Maria – RS aproximadamente 467.929 toneladas de RSU. Logo, o potencial preliminar de produção do biogás no aterro da Caturrita pode ser estimado, inicialmente, seguindo os passos identificados na Figura 1, recomendada pelo Banco Mundial.

Então, conforme a Tabela 2, verificou-se a composição gravimétrica dos RSU, sendo que 57% dos mesmos eram constituídos de matéria orgânica facilmente degradável, sendo classificado como resíduo doméstico. Portanto os percentuais de inertes e resíduos industriais comerciais e institucionais constituem os restantes 43%. Com isso, subentende-se que o fator de ajuste “RF” será de 0,7, devido a uma improvável combinação aproximada de 0% de ICI 43% de inertes, ou vice-versa, que remeteria a um RF = 0,5.

Como a região de Santa Maria recebe uma incidência média de 1.623 mm de precipitação por ano, como mostrado na Tabela 6, o aterro da Caturrita será considerado molhado. Em seguida, a capacidade estimada do aterro de 467.929 toneladas, calculada na Tabela 7, é multiplicada pelo fator RF=0,7, obtendo um ajuste de capacidade de 327.550 toneladas.

### 4.2 Os resultados da estimativa de produção de biogás no aterro da Caturrita pelo método Scholl Canyon

A Tabela 9, mostra a produção e a recuperação estimada para o CH<sub>4</sub> entre os anos de 1999 e 2043, baseando-se na equação que descreve o modelo Scholl Canyon.

De posse dos resultados da Tabela 9, é possível construir o gráfico da produção anual de CH<sub>4</sub> da Figura 3,

considerando um possível aproveitamento energético a partir de 2013.

Tabela 9: Aplicação do modelo *Scholl Canyon* para a produção e recuperação do CH<sub>4</sub> no aterro da Caturrita em Santa Maria - RS

Ano	RSU acumulado (t/ano)	Q CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /ano)	Recuperação CH <sub>4</sub> 70% (m <sup>3</sup> /ano)	Ano	RSU acumulado (t/ano)	Q CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /ano)	Recuperação CH <sub>4</sub> 70% (m <sup>3</sup> /ano)
1999	44522	359.978	251.985	2022	467929	1.197.970	838.579
2000	89548	688.725	482.108	2023	467929	1.139.544	797.681
2001	135079	988.243	691.770	2024	467929	1.083.968	758.777
2002	181115	1.260.419	882.293	2025	467929	1.031.102	721.771
2003	227656	1.507.037	1.054.926	2026	467929	980.815	686.570
2004	274701	1.729.780	1.210.846	2027	467929	932.980	653.086
2005	322251	1.930.235	1.351.164	2028	467929	887.478	621.234
2006	370306	2.109.899	1.476.929	2029	467929	844.195	590.936
2007	418865	2.270.182	1.589.127	2030	467929	803.023	562.116
2008	467929	2.412.414	1.688.690	2031	467929	763.859	534.701
2009	467929	2.294.760	1.606.332	2032	467929	726.605	508.624
2010	467929	2.182.843	1.527.990	2033	467929	691.168	483.818
2011	467929	2.076.384	1.453.469	2034	467929	657.460	460.222
2012	467929	1.975.118	1.382.583	2035	467929	625.395	437.776
2013	467929	1.878.790	1.315.153	2036	467929	594.894	416.426
2014	467929	1.787.161	1.251.012	2037	467929	565.881	396.117
2015	467929	1.700.000	1.190.000	2038	467929	538.282	376.798
2016	467929	1.617.090	1.131.963	2039	467929	512.030	358.421
2017	467929	1.538.223	1.076.756	2040	467929	487.058	340.941
2018	467929	1.463.203	1.024.242	2041	467929	463.304	324.313
2019	467929	1.391.842	974.289	2042	467929	440.708	308.496
2020	467929	1.323.961	926.773	2043	467929	419.215	293.450
2021	467929	1.259.391	881.574	-	-	-	-

Com isso, considerando um aproveitamento energético de 20 anos, iniciando em 2013 e encerrando as atividades em 2033, o aterro disponibilizaria, segundo a curva de recuperação de 70% para o CH<sub>4</sub>, os valores apresentados na Tabela 10.

A recuperação total do CH<sub>4</sub> entre 2013 e 2033, considerando uma disponibilidade de 70%, resultou em 17.529.657 m<sup>3</sup>.

#### 4.3 Os resultados quanto ao potencial de comercialização dos créditos de carbono e recuperação de energia para o aterro da Caturrita

Na Tabela 11, podem ser verificados os equivalentes de CO<sub>2</sub> que deixariam de ser emitidos com a queima do CH<sub>4</sub> entre 2013 e 2033, juntamente com a receita estimada para cada ano.

Como em leilão público, em setembro de 2008, a prefeitura de São Paulo [11], obteve € 19,20 por crédito de carbono deixado de emitir a atmosfera nos aterros Bandeirantes e São João. Portanto é conveniente estimar um valor de € 10,00 por tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> para o aterro

da Caturrita, o que poderia gerar uma receita em 20 anos de € 2.650.484 que equivale em Janeiro de 2009 a R\$ 8.110.481.

Quanto a recuperação da energia, considerou-se o poder calorífico inferior de 5100 kcal/Nm<sup>3</sup>, conforme estudos de Bancor *apud* Barros e Lemme [8], com rendimento elétrico de 30%, valor este usado para motores de combustão interna em Costa [15]. O potencial elétrico em kW pode ser visto na Tabela 12.

A receita total estimada em 20 anos, considerando a utilização de 8 motores de combustão interna de 30 kW, tarifa mínima ao consumidor de € 0,0326/kWh (valor admitido no Projeto NovaGerar [10], como US\$ 0,043/kWh e convertido a Euros), conforme a tabela anterior, situaria-se em € 954.166, equivalente a R\$ 2.919.747, conforme cotação do Euro para Real em janeiro de 2009.

O total de receita estimada entre 2013 e 2033, admitindo a comercialização de créditos de carbono e energia elétrica, seria de € 3.604.650, ou R\$ 11.030.229, isto é, um faturamento mensal de R\$ 45.960,00.



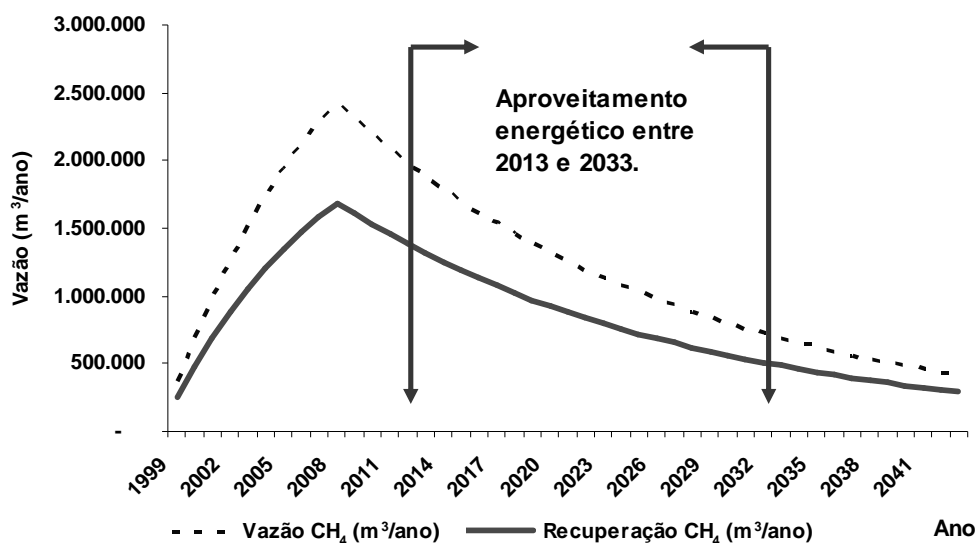


Figura 3: Curva teórica e presumida para geração do CH<sub>4</sub> no aterro da Caturrita

Tabela 10: Estimativa de recuperação do CH<sub>4</sub> para o aterro da Caturrita

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<b>CH<sub>4</sub> disponível (m<sup>3</sup>/ano)</b>	834.746	256.612	483.818	1.315.153

Tabela 11: Estimativa de geração de créditos de carbono e receita para o aterro da Caturrita

Ano	Equivalente de CO <sub>2</sub> (eCO <sub>2</sub> - t/ano)	Receita estimada com Créditos de Carbono (€/ano)
2013	19.885	198.851
2014	18.915	189.153
2015	17.993	179.928
2016	17.115	171.153
2017	16.281	162.806
2018	15.487	154.865
2019	14.731	147.313
2020	14.013	140.128
2021	13.329	133.294
2022	12.679	126.793
2023	12.061	120.609
2024	11.473	114.727
2025	10.913	109.132
2026	10.381	103.809
2027	9.875	98.747
2028	9.393	93.931
2029	8.935	89.350
2030	8.499	84.992
2031	8.085	80.847
2032	7.690	76.904
2033	7.315	73.153

Tabela 12: Potencial elétrico e a receita, estimados para a exploração no aterro da Caturrita.

Ano	PE (kW)	Receita estimada com 8 motores de combustão interna (€/ano)
2013	267	57.117
2014	254	57.117
2015	242	57.117
2016	230	57.117
2017	219	57.117
2018	208	57.117
2019	198	56.519
2020	188	53.762
2021	179	51.140
2022	170	48.646
2023	162	46.274
2024	154	44.017
2025	147	41.870
2026	139	39.828
2027	133	37.886
2028	126	36.038
2029	120	34.280
2030	114	32.609
2031	109	31.018
2032	103	29.505
2033	98	28.066

## 5 Conclusões

O potencial preliminar, da última célula enclausurada do aterro da Caturrita em Santa Maria – RS, apresentou um ajuste de capacidade de 327.550 toneladas, resultando num aterro com baixa capacidade de produção de biogás, contudo, previsível, visto que a disposição diária encontrou-se em torno de 150 toneladas de RSU.

O modelo Scholl Canyon é extensamente utilizado para projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo na América Latina e Caribe e recomendável devido a facilidade de obtenção dos dados. Através do mesmo, calculou-se a curva teórica presumida, onde se estimou a vazão com o uso de variáveis conservadoras  $k = 0,05$  e  $L_0 = 170 \text{ m}^3$  e recomendadas pelo Banco Mundial [6] e utilizadas por outros autores como Brito Filho [7], Ham [9], McBean et al. [1] e Machado et al. [2]. A recuperação energética do  $\text{CH}_4$  foi de 70%, valor considerado plenamente atingível. Com estas estimativas conservadoras, as vazões presumidas de  $\text{CH}_4$  oferecem boas perspectivas para avaliações e dimensionamentos.

Quanto aos resultados estimados, do potencial de comercialização de créditos de carbono e de geração de energia elétrica, entre 2013 e 2033, os primeiros mostram que se poderia deixar de emitir à atmosfera no aterro da Caturrita 265.048 toneladas equivalentes de carbono, resultando em

aproximadamente R\$ 8.110.481 de receita, caso o valor do crédito estivesse na casa dos € 10,00 a tonelada equivalente de  $\text{CO}_2$ .

Para a estimativa de geração de energia elétrica, significaria uma receita de R\$ 2.919.747 para o mesmo período anterior, com utilização de 8 motores de combustão interna de 30kW, cobrando uma tarifa mínima de US\$ 0,043/kWh, equivalente a aproximadamente R\$ 0,10/kWh em janeiro de 2009, valor este praticado no mercado internacional e citado no Projeto NovaGerar [10]. Cabe ressaltar que a potência real demandada para a rede de distribuição, pelos motores de combustão interna, está na ordem de 25kW, isto é, há uma perda em torno de 17%, no entanto, a mesma foi respeitada no cálculo da receita da energia.

No ápice do funcionamento da usina, a energia elétrica demandada poderia suprir a necessidade estimada de 1300 residências com consumo de 150kWh e após 20 anos, 478 residências.

Em função dos custos, os motores de combustão interna são os que se mostram mais viáveis para pequenas instalações. Contudo, as microturbinas são menos poluidoras quanto aos  $\text{NO}_x$ , como descrito por Costa [15]. A utilização de microturbinas será avaliada num próximo trabalho, que se encontra em elaboração, onde serão estimados os seguintes custos: projeto, instalação, captação e transformação do biogás, operação e manutenção do sistema, interconexão com

a rede elétrica para distribuição, impostos, percentuais destinados à municipalidade e taxa do Banco Mundial.

Após os estudos acima referidos, ter-se-ia a resposta para viabilidade financeira da possível instalação, através da subtração entre as receitas e despesas.

### Agradecimentos

Ao CNPq por contribuir à pesquisa, concedendo bolsa de doutorado, e a PROPESQ-UFRGS pela concessão de bolsa de iniciação científica para a aluna do curso de Engenharia Civil Cinthia Carolina da Costa Seidler.

### THE CATURRITA LANDFILL IN SANTA MARIA - RS: AN ATUALIZATION DUE TO THE POTENTIALS OF ANAEROBIC DIGESTION

**ABSTRACT:** The anaerobic digestion process opportunities, about sanitary and controlled landfills, are related to a biogas formation process through the biodegradation of organic substances in a predominantly anaerobic environment. Thus, through capacity adjustment of the Caturrita's landfill in Santa Maria-RS reached an exploitation potential of 327,550 tons of deposited residues, resulting in a landfill, which has a low biogas production capacity. The methane recovered between 2013 and 2033, considering an availability of 70%, came to be 17,529,657m<sup>3</sup>. Admitting the carbon credits and electric energy commercialization, during the same period, the esteemed revenue would result in € 3,604,650, or amount around R\$ 11,030,229, that is, a monthly profits of R\$ 45,960.00.

**Keywords:** methane, biogas, carbon credits, energy generation.

### Referências

- [1] MCBEAN, E.A.; SYED-RITCHIE, S.; ROVERS, F.A.; Waste Management, vol. 27, p.1783-1791, 2007.
- [2] MACHADO, S.L.; CARVALHO, M.F.; GOURC, J.P.; VILAR, O.M.; NASCIMENTO, J.C.F.; Waste Management, vol. 29, p.153-161, 2009.
- [3] TCHOBANOGLIOUS, G., THESSEN, H., VIGIL, S. A. *Composicion y Caracteristicas, Generacion, Movimiento y Control de los Gases de Vertedero*. Gestion Integral de Resíduos Sólidos, 1994, v. 1, capítulo 11.4, Mc Graw Hill.
- [4] GOMES, T. L. *Avaliação Quali-Quantitativa do Percolado Gerado no Aterro Controlado de Santa Maria - RS*. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2005.
- [5] PEREIRA NETO, J.T. Revista Ciência e Meio Ambiente, vol 1, n.1, p. 41-52, 1999.
- [6] BANCO MUNDIAL. *Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe*. Setembro de 2003. Disponível em: <[http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas\\_access\\_008\\_po.htm](http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_008_po.htm)>. Acesso em 29 out. 2008.

[7] BRITO FILHO, L. F. de. *Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2005. 222p. Dissertação (Mestrado de Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2005.

[8] BARROS, D. D. de; LEMME, C.F. *Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos de Aterros Sanitários no Brasil, no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, do Protocolo de Quioto: O Caso do Projeto NovaGerar*. In: IX ENGEMA – ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE – Anais..., Curitiba, 19 a 21, Novembro de 2007.

[9] HAM, R. K.; BARLAZ, M. A. *Measurement and Prediction of Landfill Gas Quality and Quantity in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*. ed. Thomas H. Chistensen, Raffaello Cossu, and Rainer Stegmann (Academic Press, New York, 1989) p.155-158

[10] NOVAGERAR. *Projeto NovaGerar de conversão de gases de aterro em energia dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)*. 13 de outubro de 2004. Disponível em <[http://www.bayer.com.br/byee/home.nsf/04bbd938b0f97149c1256ac500564711/83256e850068df8283256f2e003d38c8/\\$FILE/projeto%20Pablo%20Fernaandez.pdf](http://www.bayer.com.br/byee/home.nsf/04bbd938b0f97149c1256ac500564711/83256e850068df8283256f2e003d38c8/$FILE/projeto%20Pablo%20Fernaandez.pdf)>. Acesso em: 17 out 2008.

[11] SECRETARIA MUNICIPAL DE FINANÇAS. *Prefeitura arrecada R\$ 37 milhões no 2º Leilão de Créditos de Carbono*. Prefeitura Municipal de São Paulo, São Paulo, 26 set. 2008. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/financas/noticias/?p=5293>>. Acesso em: 5 dez. 2008.

[12] TOPOGRAPHIA & PLANEJAMENTO RURAL S/C LTDA. *Levantamento Topográfico Plani-Altimétrico do Aterro da Caturrita, elaborado para a Prefeitura Municipal de Santa Maria/RS – 1999*.

[13] PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. *Projeto Executivo de Aterro Controlado para Resíduos Sólidos Domésticos – Elaborado por PRT – Prestação de Serviços Ltda, Janeiro de 2003*.

[14] FEPAGRO FLORESTAS. Unidade de Apoio, Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (Santa Maria, RS). Roberto Trevisan. Medidor pluviográfico de superfície convencional. Dados de precipitação entre os anos de 1970 e 2004.

[15] COSTA, D. F. da. *Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás do Tratamento de Esgotos*. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2006.