

## **Análise do biogás no aterro sanitário Caieiras**

## **Analysis of biogas in sanitary landfill Caieiras**

Giovano Candiani<sup>1</sup> ; Marcus Roberto de Moraes da Silva<sup>2</sup>

### **Resumo**

Neste trabalho, o biogás no Aterro Sanitário Caieiras é avaliado qualitativamente, enfatizando-se a influência da aplicação de geomembrana como sistema de cobertura nas imediações dos drenos verticais de captação no aterro. Foi possível verificar um aumento na porcentagem de metano e redução de oxigênio, significando maior comercialização de créditos de carbono e produção de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Resíduo Sólido. Aterro Sanitário. Biogás. Aterro Sanitário Caieiras

### **Abstract**

In this work, the biogas in the Sanitary Landfill Caieiras is qualitatively evaluated, emphasizing the influence of the geomembrana and cover system of vertical drains in the vicinity to capture the landfill. It was possible to detect an increase in the percentage of methane and oxygen reduction, aiming at the commercialization of carbon credits and electricity production.

**Key words:** Solid Waste. Sanitary Landfill. Biogas. Sanitary Landfill Caieiras.

### **Introdução**

Segundo a norma brasileira NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), “Classificação de Resíduos Sólidos”, recebem essa denominação os resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial agrícola, de serviços e de varrição.

De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza e Resíduos Especiais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2010) em 2009 no Brasil foram geradas aproximadamente 57 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. O grande desafio é gerenciar adequadamente essa grande quantidade de resíduo.

Em 2009 no estado de São Paulo, 98,9% dos resíduos sólidos domiciliares produzidos nos 645 municípios foram destinados para locais com condições ambientais controladas (15,1%) e adequadas (83,9%), somente 1% foram destinados em locais com condição ambiental inadequada (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2010). Salienta-se que a condição sanitária no estado de São Paulo é bastante satisfatória comparando-se com o cenário sanitário brasileiro.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada no ano de 2008 aponta que aproximadamente 50,8% dos resíduos sólidos produzidos no Brasil são destinados de maneira inadequada, nos chamados lixões (vazadouros a céu aberto), 22,0% dos resíduos são destinados a aterros

<sup>1</sup> Graduado em Ecologia, Doutorando em Energia - Universidade Federal do ABC e Analista Ambiental na Essencis Soluções Ambientais S.A. - CTR-Caieiras; gcandiani@essencis.com.br.

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Ambiental - Faculdades Oswaldo Cruz e Engenheiro Ambiental na Essencis Soluções Ambientais S.A. - CTR-Caieiras; mrsilva@essencis.com.br.

controlados e somente 27,2% são destinados a aterros sanitários (IBGE, 2010).

Com a disposição dos resíduos no aterro, inicia-se o processo de biodegradação e conseqüentemente a geração de gases, principalmente o gás metano e o dióxido de carbono, que são considerados gases causadores do efeito estufa. O gás metano apresenta um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o dióxido de carbono. Os aterros sanitários são responsáveis por 10 a 20% das emissões de metano geradas pela atividade antropogênica. O gás metano representa uma parcela significativa (50 a 60%) do biogás gerado em aterro sanitário (LIMA, 1995; BIDONE; POVINELLI, 1999; TCHOBANOGLIOUS; THEISEN; VINIL, 1993; BOSCOV, 2008).

Um Aterro sanitário pode ser definido como uma forma de disposição de resíduos sólidos no solo, que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais, permite o confinamento seguro, garantindo o controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública, minimizando impactos ambientais (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2000).

O Aterro Sanitário Caieiras localiza-se no município de Caieiras (23°21'51"S e 46°44'26"W) estado de São Paulo. O acesso é efetuado por meio da Rodovia dos Bandeirantes, Km 33.

É um empreendimento de propriedade da empresa Essencis Soluções Ambientais S.A.,

constituída pela parceria entre as empresas Camargo Corrêa e Solví Ambiental. Este é denominado Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras (CTR-Caieiras), sendo uma unidade operacional instalada para tratar e dispor resíduos sólidos urbanos e industriais (CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS E CONSULTORES, 1998).

Este aterro recebe resíduos sólidos urbanos da Bacia do Rio Juquery (incluindo os municípios de Caieiras, Franco da Rocha, Francisco Morato, Cajamar, Campo Limpo Paulista, Várzea Grande Paulista e Mairiporã).

Além destes municípios, este aterro recebe ainda os resíduos dos seguintes municípios: Taboão da Serra, Embu-Guaçu, Itapeperica da Serra e São Paulo.

O aterro recebe aproximadamente 7.000 toneladas/dia e apresenta tempo de vida útil de cerca de 30 anos. Este aterro tem capacidade para receber 26 milhões de toneladas de resíduos, sendo dividido em seis fases de operação, atualmente a operação ocorre na terceira fase.

O aterro é constituído por um sistema de impermeabilização de base, composto por uma camada de solo (2 m de espessura) de ocorrência natural compactada até a permeabilidade na ordem de  $10^{-7}$  m/s, camada de solo argiloso (1 m de espessura) compactada até a permeabilidade na ordem de  $10^{-9}$  m/s, barreira sintética de geocomposto bentonítico e geomembrana de polietileno de alta densidade.



**Figura 1.** Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras).

O lixiviado ou percolado (chorume) gerado na decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos e as águas de chuva, coletados através de um sistema de drenagem, são transportados a tanques de armazenamento para posterior tratamento adequado na SABESP.

Os gases gerados no aterro (biogás, formado basicamente por metano, dióxido de carbono, oxigênio e outros gases em menor proporção), provenientes dos processos de decomposição dos resíduos orgânicos são captados através de drenos e encaminhados para o devido tratamento (combustão) em queimadores adequados, tipo flare.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a produção de biogás no Aterro Sanitário Caieiras-SP, avaliando-se a influência do tamanho da geomembrana usada para a cobertura nas imediações dos drenos verticais em relação à eficiência de captação de biogás como subsídio para aumentar a produção de gás

metano e créditos de carbono.

### **Metodologia**

O monitoramento do biogás no aterro sanitário Caieiras foi realizado por meio de um analisador portátil de gás, modelo GEM<sup>TM</sup>2000 marca LANDTEC.

Foram realizadas medições da composição do biogás, analisando a qualidade do biogás por meio da avaliação das porcentagens de metano e oxigênio.

Foram selecionados drenos verticais para execução da parte experimental do trabalho, o estudo foi composto pelos seguintes tratamentos: tratamento 1 - cobertura (2 x 2 m) convencional utilizada no aterro Caieiras e tratamento 2 - aumento do tamanho da cobertura (4 x 4 m). Cada tratamento foi composto por 3 drenos verticais.



**Figura 2.** Instalação da geomembrana no dreno vertical do Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras).

Os drenos verticais foram monitorados diariamente por um período total de 30 dias, sendo que cada tratamento do estudo foi analisado por um período de 15 dias. Os drenos verticais do estudo foram executados por dois funcionários do aterro, utilizando-se dos seguintes materiais: pedra tipo rachão, geotêxtil, geomembrana, bentonita e solo. Utilizou-se também para a execução dos drenos equipamentos de compactação. Os drenos verticais utilizados na pesquisa foram adaptados a 1 m de profundidade, considerando a superfície do aterro.

### *Sistema de Captação de Biogás*

A captação do biogás no aterro é realizada através de drenos verticais, em que o biogás é queimado diretamente nos queimadores acoplados na parte superior destes drenos. O biogás é captado por meio de um sistema ativo, exaustão forçada promovida pela instalação de exaustores. Nesse sistema a eficiência de coleta do biogás pode chegar a até 80% em relação ao total de gás produzido no aterro sanitário. E a eficiência de queima do “flare” está entre 98 e 99%.

O sistema de captação promove o encaminhamento do biogás dos drenos do sistema de coleta até o sistema de tratamento, que é composto basicamente por um conjunto de exaustores e

filtros para remoção de condensado e particulado. Este pré-tratamento, realizado por um filtro para a remoção de condensados e particulados do biogás, tem a finalidade de proteger os exaustores.

O sistema ativo para a captação do biogás no aterro pode ser descrito da seguinte maneira: a pressão negativa gerada pelo exaustor na linha de sucção (sistema de drenagem) é a força motriz que capta o biogás dos drenos e o encaminha por toda a rede coletora até a unidade de tratamento. Na linha de entrada do sistema, a vazão é controlada por válvula e indiretamente através do transmissor de pressão, que envia um sinal elétrico para o inversor de frequência, acoplado ao exaustor. A primeira etapa de tratamento do biogás captado ocorre pela passagem do mesmo através de um tanque separador de líquidos, provido de filtros, no qual o condensado e particulado ficam retidos (ESSENCIS, 2008).

O líquido retido é encaminhado por gravidade para um tanque de coleta de condensado e deste é bombeado para o tanque de armazenamento de chorume. Após a passagem pelo filtro, o biogás passa pelo exaustor e é encaminhado para a queima controlada no “flare”. Na linha de entrada do “flare” a vazão de gás é monitorada pelo transmissor de vazão, o qual transmite os dados para um controlador lógico programável (PLC).



**Figura 3.** Dreno Vertical de Captação de Biogás no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras).

Atualmente existe somente um projeto piloto de aproveitamento energético a partir do biogás de aterro. O projeto de aproveitamento energético do aterro é executado por meio de uma parceria entre a ESSENCIS e o CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa, órgão vinculado ao Instituto de Energia Elétrica (IEE) da Universidade de São Paulo (CENBIO, 2009). Considerando-se as estimativas desenvolvidas pelo CENBIO, o Aterro Sanitário Caieiras está produzindo, em média, cerca de 14.500 m<sup>3</sup>/h de biogás, com aproximadamente 50% de metano. Em função da

vazão de metano e a modelagem utilizada pelo CENBIO, atualmente o Aterro Sanitário Caieiras apresenta uma estimativa potencial de geração de energia elétrica de aproximadamente 22 MW (PECORA; VELÁZQUEZ; COELHO, 2010). O Aterro Sanitário Caieiras já comercializou 2,8 x 10<sup>6</sup> toneladas de CO<sub>2e</sub> (carbono equivalente) considerando-se a venda do crédito de carbono a 11,00 reais (US\$ 5,00) no período de negociação (2002-2003), produzindo uma receita de R\$ 31 milhões.



**Figura 4.** Planta de Captação de Biogás no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras).

## Resultados

O Aterro Sanitário Caieiras recebeu cerca de 12 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, produzindo aproximadamente 62.173 m<sup>3</sup>/h de biogás no período de 2002 a 2010. A concentração

média de metano foi de cerca de 46% e a produção total de metano neste mesmo período foi de 29.626 m<sup>3</sup>/h.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a média anual dos dados coletados por meio do monitoramento da produção de biogás no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras).

Ano	Total de resíduo depositado no Aterro (toneladas)
2002	70.981
2003	415.797
2004	454.349
2005	701.725
2006	735.517
2007	2.069.85
2008	2.345.274
2009	2.478.986
2010	2.678.422

**Tabela 1.** Valores de deposição de resíduos no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras)

Total de Biogás Captado (m <sup>3</sup> /h)	Valor Médio de Metano (%)	Total de Metano Captado (m <sup>3</sup> /h)
180	42	75,60
1.214	44	534,16
2.228	45	1.002,6
3.755	45	1.689,75
5.195	45	2.337,75
9.854	45	4.434,30
10.725	47	5.040,75
14.375	50	7.187,50
14.647	50	7.323,50

**Tabela 2.** Valores da produção de biogás e metano no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras)

As Tabelas 3 e 4 apresentam os drenos verticais utilizados no experimento de campo, os valores de metano e oxigênio medidos nos tratamentos efetuados e os valores de pressão.

Nota-se que com o tratamento 2 impermeabilização com geomembrana em uma

maior área (4 x 4 m) ocorreu um aumento de metano com redução de oxigênio na composição do biogás, representando um aumento na eficiência de captação do gás metano no aterro sanitário. É possível observar que na média ocorreu um incremento de 4,43% de metano.

Dreno	Tratamento	Valor Metano(%)
Dreno 61	2 x 2 m	53,72
	4 x 4 m	59,16
Dreno 66	2 x 2 m	57,57
	4 x 4 m	58,87
Dreno 67	2 x 2 m	57,6
	4 x 4 m	58,12

**Tabela 3.** Drenos, tratamentos e valores obtidos nas medições de campo no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras)

Valor Oxigênio (%)	Pressão (mbar)	Aumento de Metano
1,94	-2,3	
0,17	-2,3	10,13%
0,47	-4,3	
0,15	-4,3	2,26%
1,35	-2,4	
0,4	-2,4	0,90%
		Média: 4,43%

**Tabela 4.** Valores obtidos nas medições de campo no Aterro Sanitário Caieiras (CTR-Caieiras)

Considerando-se uma vazão média de biogás de 14.500 m<sup>3</sup>/h, uma concentração média de metano de 48%, 100 drenos adaptados com a geomembrana 2 x 2 m, a densidade do metano de 0,0007168, o potencial de aquecimento (21 vezes mais do que o CO<sub>2</sub>), a linha de base de 80% (percentual permitido para crédito de carbono conforme o projeto do aterro), foi possível determinar o valor do carbono equivalente reduzido (CER) de 62.357,61 toneladas/mês.

Com uma comercialização dos créditos de carbono atual a cerca de 10 euros, foi possível obter uma lucratividade de R\$ 1.683.655,44, com um custo de geomembrana de R\$ 5.060,00 (400 m<sup>2</sup> de geomembrana considerando-se 100 drenos (2 x 2 m) e um valor de geomembrana de 12,65 reais por m<sup>2</sup>).

Baseando-se nesses pressupostos e cálculos, porém considerando o incremento de metano proporcionado pelo aumento da geomembrana (4

x 4 m), a porcentagem da concentração de metano passa de 48% para 50% (considerando o valor médio percentual de incremento de 4,43% de metano no aterro).

Assim, a produção de carbono passou para 87,53 toneladas de CER/hora e no mês 65.120,05 toneladas de CER, gerando uma lucratividade de R\$ 1.758.441,38, tendo um custo de geomembrana de R\$ 20.240,00 (1.600 m<sup>2</sup>).

Com essa nova receita gerada pela maior aplicação de geomembrana é possível verificar um aumento de R\$ 74.585,94 por mês ao aterro. Se considerar o aumento da geomembrana (de 2 x 2 m para 4 x 4 m) nos 100 drenos do aterro seria necessário cerca de R\$ 32.384,00 (considerando-se os custos da geomembrana de R\$ 20.240,00, mais os valores de mão-de-obra e equipamentos).

Considerando-se o lucro total de R\$ 1.758.441,38 (geomembrana 4 x 4 m) em função do mês (30 dias) e do dia (24 horas) é possível obter um valor de R\$ 2.442,00 por hora. Multiplicando-se o valor (2.442,00 reais/hora) por 24 horas e também por 30 dias, teríamos um valor de R\$ 21.098.880,00 por ano. Este valor refere-se à receita adicional, considerando-se o aumento da área de impermeabilização nos drenos verticais no aterro Caieiras.

Os custos adicionais (R\$ 32.384,00) dividido pelo valor da receita por hora (R\$ 2.442,00) resulta em um valor em torno de 13 horas de operação para pagar os investimentos adicionais.

Sendo assim, nota-se que o aumento da geomembrana é bastante viável, significando aumento de eficiência no sistema de captação do biogás no aterro, pois foi possível perceber um incremento de metano e redução de oxigênio (aspecto bastante importante, pois evita a oxidação do próprio metano) e também maior lucratividade em termos de comercialização de créditos de carbono.

## Conclusões

A instalação de geomembrana em uma maior área nas imediações dos drenos verticais no aterro é bastante viável, significando aumento de eficiência no sistema de captação do biogás, principalmente devido o incremento de metano, redução de oxigênio e maior lucratividade em termos de comercialização de créditos de carbono. Os resultados obtidos podem ser utilizados para se adequar procedimentos técnicos e operacionais em sistemas de captação de biogás em aterros sanitários, objetivando-se a comercialização de créditos de carbono e produção de energia elétrica.

Como sugestão de estudo futuro, seria interessante avaliar se no processo de adaptação do dreno vertical para conectá-lo a rede de captação (sistema ativo), executando esta adaptação a uma profundidade maior do que 1 m (utilizado normalmente como procedimento) em relação à superfície do aterro sanitário, proporcionaria maior eficiência de captação, independentemente do aumento da área impermeabilizada com geomembrana nas proximidades dos drenos verticais como foi pesquisado neste trabalho.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: *classificação de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2009*. São Paulo, 2010.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos: EESC, 1999.
- BOSCOV, M. E. G. *Geotecnia ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. *Aproveitamento do biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica e iluminação a gás*. Relatório de Atividades. São Paulo, 2009.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. *Inventário dos resíduos sólidos urbanos*

- 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 6 jun. 2010.

CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS E CONSULTORES. EIA/RIMA: *Estudo de viabilidade do CTR-Caieiras*, Caieiras, 1998.

ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A. (CTR-CAIEIRAS). *Relatório Ambiental da CTR-Caieiras*, Caieiras, 2008.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008*. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

LIMA, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. São Paulo: Hemus, 1995.

PECORA, V. G.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; COELHO, S. T. *Aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário para geração de energia elétrica em São Paulo*. Estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. 7., 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2010. P. 1249-1261.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S. *Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues*. USA: McGraw-Hill, 1993.

*Recebido em 1 Fevereiro, 2011 - Received on February 1, 2011.*

*Aceito em 3 Abril, 2011 - Accepted on April 3, 2011.*

