

**UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ – UNIVALI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E
CULTURA – PROPPEC
CENTRO DE EDUCAÇÃO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
TERRA E DO MAR – CTTMAR
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL
PROGRAMA DE MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E GESTÃO
AMBIENTAL**

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UM ATERRO
SANITÁRIO: ESTUDO DE CASO NO ATERRO BANDEIRANTES**

TIAGO NASCIMENTO SILVA

Itajaí

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ – UNIVALI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E CULTURA
– PROPPEC
CENTRO DE EDUCAÇÃO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
TERRA E DO MAR – CTTMAR
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL
PROGRAMA DE MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E GESTÃO
AMBIENTAL**

***DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO:
ESTUDO DE CASO NO ATERRO BANDEIRANTES***

TIAGO NASCIMENTO SILVA

Dissertação submetida à
Universidade do Vale do Itajaí,
como requisito final à obtenção
do título de Mestre em Ciência
e Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Lucila Maria de Souza Campos, Dra.

**Itajaí
2006**

TIAGO NASCIMENTO SILVA

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO:
ESTUDO DE CASO NO ATERRO BANDEIRANTES**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental** no **Programa de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI**.

Itajaí, 5 julho de 2006

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Lucila Maria de Souza Campos,
Dra.
Universidade do Vale do Itajaí
Orientadora

Prof. Paulo Belli Filho, Dr
Universidade Federal de Santa Catarina
Externo

Prof. Claudemir Marcos Radestski, Dr.
Universidade do Vale do Itajaí

Prof. Alexandre de Ávila Leripio, Dr.
Universidade do Vale do Itajaí

“O Universo deixa de ser visto como uma máquina, composta de uma infinidade de objetos, para ser descrito como um todo dinâmico, indivisível, cujas partes estão essencialmente inter-relacionadas”.
(Fritjof Capra)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a minha orientadora, Lucila, por ter tido paciência nas diversas ocasiões de mudanças de planos do presente trabalho e por sempre me deixar mais tranqüilo acreditando no meu potencial.

Agradeço aos Engenheiros Antonio Carlos Delbin, Julio César do Prado Jr. e a Administradora Andréa Aronne, pelo apoio, confiança e ensinamentos passados.

Ao Engenheiro Luis Sergio Akira Kaimoto, por tirar diversas dúvidas e estar sempre disponível apesar do curto tempo.

À equipe de estagiários do Biogás Energia Ambiental S.A., por me ajudarem na coleta de dados do presente trabalho. São eles os futuros Engenheiros Ambientais: Daniel Picanço, Caio Takase, Vinício Sugui.

À equipe de manutenção do sistema de coleta de gás, tendo como representante o Topógrafo Paulo Roberto Guabiraba.

Aos meus pais, José Carlos e Maria Lúcia, por acreditarem no meu potencial e por disponibilizarem tudo que precisei e mais um pouco, para minha formação.

Agradeço a minha esposa Raquel Franzini, por ter me ajudado em todo processo deste trabalho, e grande parte de minha vida, proporcionando condições mais tranqüilas para finalizar este estudo.

A todos da família Xavier e Franzini por me apoiarem e sempre falarem palavras de conforto. Agradecimento especial à Professora Ismênia Xavier, ao meu sogro Engenheiro Renato Franzini e sua esposa Engenheira Áurea Xavier Franzini e a empresa Maré Engenharia, Geotecnia e Construções Ltda.

Por fim, agradeço a Deus por saber que sempre está do meu lado, juntamente com meu anjo da guarda de prontidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVI
RESUMO	17
ABSTRACT	19
CAPÍTULO 1	21
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	21
1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA	25
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	27
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	27
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	27
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	28
CAPÍTULO 2	29
REVISÃO DA LITERATURA	29
2 O BIOGÁS DE ATERRO E O SEU APROVEITAMENTO	29
2.1 LIXÕES	29
2.2 ATERROS.....	30
2.1.1 <i>Classificação de Aterros</i>	32
2.1.2 <i>Aterros Controlados</i>	33
2.1.3 <i>Aterros Sanitários</i>	33
2.3 FORMAÇÃO DO GÁS DE ATERRO	34
2.3.1 <i>Influência dos Fatores Ambientais</i>	36
2.3.2 <i>Quantidade e composição do resíduo</i>	36
2.3.3 <i>Nutrientes</i>	38
2.3.4 <i>Constituintes da Mistura</i>	39
2.3.5 <i>Temperatura</i>	39
2.3.6 <i>pH (Potencial Hidrogeniônico)</i>	39

2.3.7	<i>Fases de formação do biogás no aterro</i>	40
2.4	EMISSÃO DE METANO DE ATERROS SANITÁRIOS	42
2.5	CAPTAÇÃO DO GÁS DE ATERRO	44
2.6	SISTEMA DE COLETA DO GÁS	50
2.7	PROJETOS DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS	54
2.7.1	<i>Projetos no Mundo</i>	54
2.7.2	<i>Projetos no Brasil</i>	55
CAPÍTULO 3		59
3	ESTUDO DE CASO	59
3.1.1	<i>O Aterro dos Bandeirantes</i>	59
3.1.2	<i>A Usina Termelétrica</i>	61
CAPÍTULO 4		66
4	MATERIAIS E MÉTODOS	66
4.1	TESTE DE REPRODUTIBILIDADE DAS MEDIDAS	67
4.2	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM	69
4.3	METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM.....	70
4.4	COLETA DO MATERIAL	71
4.5	ANÁLISE DOS DADOS	72
4.5.1	<i>Análise de Cortes</i>	72
4.5.2	<i>Análise de poços com extração passiva</i>	73
4.5.3	<i>Análise de poços com extração ativa</i>	74
4.6	APARELHOS UTILIZADOS	74
4.6.1	<i>Analisador de gás</i>	74
4.6.2	<i>Anemômetro</i>	77
4.6.3	<i>Manômetro</i>	80
4.7	PROCESSAMENTO DOS DADOS	81
CAPÍTULO 5		82
5	RESULTADOS	82
5.1	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	82
5.2	ANÁLISE DOS CORTES	83
5.2.1	<i>Produção</i>	83

5.2.2	<i>Qualidade do Gás</i>	86
5.2.2.1	Metano.....	86
5.2.2.2	Oxigênio	89
5.2.3	<i>Pressão</i>	92
5.3	ANÁLISE DE POÇOS COM EXTRAÇÃO PASSIVA	95
5.3.1	<i>Produção</i>	95
5.3.1.1	Análise Geral	95
5.3.2	<i>Qualidade do Gás</i>	97
5.3.2.1	Análise Geral	97
5.3.3	<i>Pressão</i>	99
5.3.3.1	Análise Geral	100
5.4	ANÁLISE DE POÇOS DE EXTRAÇÃO ATIVA	101
5.4.1	<i>Produção</i>	101
5.4.1.1	Análise Geral	101
5.4.2	<i>Qualidade do Gás</i>	104
5.4.2.1	Análise Geral	104
5.4.2.2	Metano.....	105
5.4.2.3	Oxigênio	107
5.4.3	<i>Pressão</i>	108
5.4.3.1	Análise Geral	108
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS	111
CAPÍTULO 6.....		113
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....		113
6.1	CONCLUSÕES.....	113
6.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		116
ANEXOS – DADOS BRUTOS DAS ANÁLISES		124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade.	32
Tabela 2 – Composição do biogás de aterro. Fonte: Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).	35
Tabela 3 – Caracterização dos constituintes orgânicos biodegradáveis segundo Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).	37
Tabela 4 – Componentes dos resíduos orgânicos decompostos e seus elementos químicos. Fonte: Tchobanoglous <i>et. al.</i> , (1993).	38
Tabela 5 – Dados de vazão média e porcentagem de metano dos três poços monitorados durante os experimentos feitos pela USEPA/ <i>Van Der Wiel</i> . Fonte: <i>Van de Wiel Stortgas</i>	68
Tabela 6 – Tabela de exatidão na medição dos gases constituintes de biogás do Analisador de Gás GA94 da <i>Geotechnical Instruments®</i>	76
Tabela 7 – Tabela de exatidão e escala de medição (<i>range</i>) do anemômetro da Schiltknecht ® usado na medição da vazão da extração de biogás nos poços (PB) monitorados.	79
Tabela 8 – Tabela de exatidão do manômetro da <i>Digitron</i> ® usado na medição pressão dos poços de extração de biogás (PB).	81
Tabela 9 – Dados gerais de profundidade (m) e idade (anos) estimados de todos os poços de extração de biogás (PB) estudados na análise de corte.	82
Tabela 10 – Dados de vazão média (N.m ³ /h) por estratificação de profundidade de biogás extraído dos poços na análise de cortes.	84
Tabela 11 – Dados de porcentagem de metano médio de biogás extraído dos poços na análise de cortes, por estratificação de profundidade.	86
Tabela 12 – Dados de porcentagem de oxigênio médio de biogás extraído dos poços na análise de cortes, por estratificação de profundidade.	89
Tabela 13 – Dados de pressão (mbar) média de biogás obtidos dos poços de extração na análise de cortes, por estratificação de profundidade.	92
Tabela 14 – Dados gerais de vazão (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.	95
Tabela 15 – Dados gerais de qualidade do gás (% de oxigênio e metano) dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.	97

Tabela 16 – Dados gerais de pressão (mbar) dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.	100
Tabela 17 – Dados de vazão média (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	101
Tabela 18 – Tabela comparativa de vazão dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).	103
Tabela 19 – Dados de qualidade média do biogás (% de oxigênio e % metano) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	104
Tabela 20 – Tabela comparativa de teor de metano (%) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).	106
Tabela 21 – Tabela comparativa de teor de oxigênio (%) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).	107
Tabela 22 – Dados de qualidade pressão (mbar) no coletor dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	108
Tabela 23 – Tabela comparativa da pressão (mbar) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).	110
Tabela 24 – Dados brutos de vazão (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	125
Tabela 25 – Continuação dos dados brutos de vazão (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	125
Tabela 26 - Dados brutos de teor de metano (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	126
Tabela 27 – Continuação dos dados brutos de teor de metano (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	127
Tabela 28 – Dados brutos de teor de oxigênio (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	127
Tabela 29 – Continuação dos dados brutos de teor de oxigênio (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	128
Tabela 30 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	129
Tabela 31 – Continuação dos dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de cortes.	129
Tabela 32 – Dados brutos de vazão (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.	130

Tabela 33 – Dados brutos de teor de oxigênio (%) e metano (%) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.....	131
Tabela 34 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.....	131
Tabela 35 – Dados brutos de vazão (N.m ³ /h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	132
Tabela 36 – Dados brutos do teor de oxigênio (%) e metano (%) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	133
Tabela 37 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho ilustrativo de vazadores ou lixão (IPT, 1995).....	30
Figura 2 – Detalhe da etapa de cobertura e compactação do lixo no Aterro Sanitário dos Bandeirantes – SP.	31
Figura 3 – Desenho esquemático de um aterro sanitário. Fonte: IPT (2000).....	34
Figura 4 – Fases da biodegradação sem interferência dos resíduos sólidos urbanos segundo Park <i>et. Al</i> (1999).....	36
Figura 5 – Fases de formação do biogás em aterros. Adaptado de Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).	40
Figura 6 – Etapa de impermeabilização do terreno do futuro aterro sanitário. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.....	45
Figura 7 - Etapa de impermeabilização do terreno do futuro aterro sanitário com os drenos horizontais e verticais. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.....	46
Figura 8 – Sistema de drenagem de gás e chorume. Na foto, temos o dreno horizontal e vertical e o dreno queimando gás após acomodamento dos resíduos. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.....	47
Figura 9 – Esquema do perfil típico de um dreno no maciço do aterro sanitário (Fonte: Biogás Energia Ambiental S. A).....	47
Figura 10 – Esquema de influência no maciço do aterro de um poço de drenagem com o sistema passivo (Fonte: USEPA (1996)).....	49
Figura 11 – Esquema de influência no maciço do aterro de um poço de drenagem com o sistema ativo (Fonte: USEPA (1996)).....	50
Figura 12 – Desenho esquemático de um poço de captação de gás usado no projeto do Aterro dos Bandeirantes.....	51
Figura 13 – Ilustração da transformação de PDR em PB no Aterro dos Bandeirantes (SP).....	52
Figura 14 – Desenho esquemático do coletor (CLT) de biogás usado no projeto do Aterro dos Bandeirantes.	53
Figura 15 – Sistema de captação final de Projeto de aproveitamento de biogás de aterro para a UTE Bandeirantes. Legenda: em verde o sistema de captação de tubulação (Φ 110mm); em azul a tubulação da linha principal (Φ 315mm); os pontos vermelhos são os PB's ligados nos respectivos coletores.....	53

Figura 16 – Foto aérea do Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo (Foto: Heleno & Fonseca Construtécnica S. A).....	60
Figura 17 – Ilustração da Planta da Usina de Biogás (Fonte: Biogás Energia Ambiental S.A).	61
Figura 18 – Vista aérea do Aterro dos Bandeirantes de São Paulo (SP) com detalhe da Usina Termelétrica (UTE) de Biogás.	62
Figura 19 – Esquema de chegada de gás na Usina até a moto-geração da Usina Termelétrica dos Bandeirantes – SP (Fonte: Biogás Energia Ambiental S. A).	64
Figura 20 – Plano de monitoramento determinado pela linha de base da metodologia para atividades de biogás de aterro (ACM0001).	66
Figura 21 – Mini-Flare (queimador) usado nos testes feitos pela USEPA em 1997. Fonte: <i>Van der Wiel Stortgas</i>	67
Figura 22 – Local dos poços usados no experimento feito pela USEPA em 1997 no Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo.....	68
Figura 23 – Gráfico de acompanhamento de vazão total (N.m ³ /h) e vazão de metano (N.m ³ /h) dos poços monitorados pela USEPA em 1997 no Aterro dos Bandeirantes. Fonte: <i>Van der Wiel Stortgas</i>	69
Figura 24 – Válvula tipo borboleta usada para a regulagem em cada poço ligado ao coletor. A válvula possui 12 posições de regulagem (na foto a válvula está na aberta na posição seis (6))......	70
Figura 25 – Foto da área de estudo e dos dados coletados no presente trabalho (latitude e longitude mostradas na figura).	71
Figura 26 – Foto da chaminé instalada em cima do poço de biogás para o estudo de poços com exaustão passiva (Fonte: Biogás Energia Ambiental S.A).....	74
Figura 27 – Analisador de biogás da <i>Geotechnical Instruments</i> [®] usado no presente trabalho no monitoramento da qualidade do gás (metano e oxigênio) em cada Poço de Biogás (PB).	75
Figura 28 – Analisador de biogás da <i>Geotechnical Instruments</i> [®] sendo usado no coletor de campo no monitoramento da qualidade do gás (metano e oxigênio) em cada Poço de Biogás (PB).	76
Figura 29 - Analisador de biogás da <i>Geotechnical Instruments</i> [®] sendo calibrado com o cilindro padrão antes de ser usado para medir a qualidade do gás em campo.	77

Figura 30 – Detalhe da hélice do Anemômetro da Schiltknecht® usado no presente trabalho no monitoramento da velocidade do gás em cada Poço de Biogás (PB).....	78
Figura 31 - Anemômetro da Schiltknecht ® usado na medição da vazão da extração de biogás nos poços (PB) monitorados.....	78
Figura 32 – Manômetro da <i>Digitron</i> ® usado no presente trabalho no monitoramento da pressão dos poços de extração de biogás (PB).....	80
Figura 33 – Gráficos de acompanhamento das vazões (N.m ³ /h) dos poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005. A legenda acompanha a estratificação por profundidade.	85
Figura 34 – Gráficos de acompanhamento do teor de metano (%) dos poços estudados na análise de corte no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.....	88
Figura 35 – Gráficos de acompanhamento do teor de oxigênio (%) de todos os poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.	91
Figura 36 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mbar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.	94
Figura 37 – Gráficos de acompanhamento da vazão (N.m ³ /h) medida nos coletores de todos os poços estudados na análise de poços com extração passiva.....	96
Figura 38 – Gráficos de acompanhamento do teor do metano (linha rosa) e de oxigênio (linha azul) medido nos coletores de todos os poços estudados na análise de poços com extração passiva.....	98
Figura 39 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mbar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.	101
Figura 40 – Gráficos de acompanhamento da vazão (N.m ³ /h) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração ativa.	102
Figura 41 – Distribuição de medição de pressão usada nos testes de avaliação da influência dos poços no maciço dos aterros sanitários (USEPA, 1991).....	104
Figura 42 – Gráficos de acompanhamento do teor de metano (%) (linha rosa) e de oxigênio (%) (linha preta) medida nos coletores dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.	105

Figura 43 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mbar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração ativa. 109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CER's - Certificado de Emissões Reduzidas

CLT – Coletor de biogás de aterro

CQMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

DP – Desvio Padrão

GEE – Gases de efeito estufa

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

PB – Poço de Biogás para a captação do gás

PDR – Poço de drenagem de biogás de aterro

PEAD - Polietileno de alta densidade

RSO – Resíduos Sólidos Orgânicos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

RESUMO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos tem sido um grande desafio para a sociedade moderna, principalmente nas grandes metrópoles, tendo em vista a grande teia envolvida nesse processo e os problemas ambientais associados. O biogás de aterro é o produto final desse processo e, atualmente, tem sido alvo de grande discussão internacional nas questões ambientais pelo fato de um dos constituintes desse gás, o metano, pertencer ao grupo dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Dentro deste contexto, em uma das diversas conferências ambientais, foi criado o Protocolo de Quioto, o qual apresenta um documento que define um instrumento econômico, o comércio de emissões, como forma de mitigar o efeito estufa e fomentar o Desenvolvimento Sustentável. Por meio do Protocolo, países em desenvolvimento podem contar com recursos financeiros e, conseqüentemente, com a transferência de tecnologia dos países industrializados. Projetos de aproveitamento de biogás de aterros se tornaram uma alternativa interessante para que países desenvolvidos pudessem cumprir com sua obrigação de reduzir emissões de GEE. O presente trabalho apresentou os primeiros resultados, dificuldades e perspectivas no Brasil do monitoramento do sistema captação de gás de aterro de um projeto de aproveitamento para fins de produção de energia. O estudo foi efetuado na Usina Termelétrica Bandeirantes que se localiza dentro do Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo – SP. Foram monitorados parâmetros de qualidade do biogás, pressão exercida pelo sistema de captação e produção dos poços. A partir do acompanhamento temporal desses parâmetros, foram feitas três diferentes análises em diferentes situações que pudessem explicar o comportamento dos poços, a saber: (1) poços em diferentes profundidades, e duas análises a caráter de comparação; (2) poços ligados ao sistema de captação por extração ativa; e (3) poços não ligados ao sistema de captação, com extração passiva. Os resultados demonstraram que: (a) não há, para aterros de grandes proporções, uma relação direta de profundidade com qualidade do gás e produção dos poços e (b) poços com extração passiva em relação à ativa tiveram diferenças significativas em relação aos valores dos parâmetros acompanhados. A partir desses resultados, conclui-se que grandes movimentações do aterro devem

afetar os drenos verticais e horizontais internos, tendo por conseqüência um caminhamento diferenciado do biogás, e que poços ligados ao sistema de captação afetam de forma clara a região em seu entorno imediato do maciço. Um monitoramento inadequado do sistema pode gerar perdas difusas de gás ou a indesejada inserção de oxigênio da atmosfera no sistema.

ABSTRACT

The management of the urban solid residues has been a great challenge for the modern society, mainly in the great metropolises, because of the great ties in this process and the associated Environmental problems. The landfill gas (biogas) is the final product of this process. It has been the subject of international discussions on environmental matters because one of its components, the methane, belongs to the group of the Greenhouse Gases. In one of many conferences on this subject, the Kyoto Protocol has been created. This document defines an economic tool, the trade of emissions, as a way to limit the greenhouse effect and to support the Sustainable Development. Through the Protocol, developing countries can count on financial resources and trade of technology with the industrialized countries. Projects of exploitation of landfill gas became an interesting alternative for the developed countries to accomplish with its obligation of reducing Greenhouse Gas emissions. This study presented the first results, difficulties and perspectives in Brazil of monitoring a landfill gas extraction system in a project aimed at producing energy. The study was done in the Bandeirantes Thermoelectric Plant, inside the Bandeirantes Landfill in the City of São Paulo – SP - Brazil. Parameters of quality of the biogas, of the pressure performed by the extraction system and the production of the wells have been monitored. From the secular tracking of these parameters, three different analyses in different situations were done in order to explain the behavior of the wells: (1) on wells of different depths, and two analyses for comparison; (2) on wells linked to the system of extraction for active extraction; and (3) on wells not linked to the extraction system, with passive extraction. Results show that: (a) in landfills of great proportions, there is no direct relation between the depth of the well with the quality of the gas and the production of the wells and (b) compared to the active extraction wells, the passive extraction ones had had significant differences in the values of the recorded parameters. From these results, one concludes that great movements of the landfill must affect the vertical and horizontal internal drains causing a differentiated guiding of the biogas and that linked wells to extraction system clear affect the area in spill immediate of the solid. An inadequate way of monitoring the

system can cause diffuse gas losses or the undesired insertion of atmosphere oxygen in the system.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução, será primeiramente apresentada uma contextualização do tema proposto no presente trabalho. Em seguida, serão destacadas as perguntas de pesquisa. No próximo item relevância do estudo logo após os objetivos gerais e específicos do trabalho. Por fim, será apresentada a estrutura do trabalho.

1.1 Contextualização

As ações das atividades econômicas, desde a revolução industrial, têm provocado grandes alterações na biosfera. A principal alteração é oriunda da emissão de grandes quantidades de gases resultados da queima de combustíveis fósseis. Durante o intervalo de 1950 a 1998, houve a duplicação dos Gases de Efeito Estufa (GEE)¹. Em decorrência disso, a temperatura média do Planeta Terra teve um aumento médio entre 1,4 e 5,4 °C (IPCC (2001), EPA (2002)).

O efeito estufa é um fenômeno que ocorre de forma natural na atmosfera. Alguns gases são capazes de reter o calor do sol, sem os quais a radiação solar se dissiparia no espaço. São essenciais, portanto, para manter a temperatura necessária para a existência de vida no planeta. Contudo, as atividades humanas e naturais que causam as alterações ambientais vêm, ao longo dos anos, provocando mudanças climáticas em ritmos cada vez mais acelerados. A liberação de gases que causam o efeito estufa aumenta, a cada ano, uma vez que é produzida pela queima de combustíveis fósseis e de florestas, pelo mau uso das técnicas agrícolas e por gases emitidos pelo processo industrial.

Embora haja ainda muitas discussões e incertezas em relação ao rumo das mudanças climáticas globais, a maior parte dos estudos indica que as mudanças climáticas relacionadas a gases de efeito estufa (GEE) de origem antropogênica

¹ Por Gases de Efeito Estufa entende-se: dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), e família dos perfluorcarbonos e dos hidrofluorcarbonos (MIGUEZ, 2000).

vão ser capazes de exceder as mudanças climáticas naturais nas próximas décadas.

O Dióxido de carbono, produzido na queima de combustíveis fósseis - carvão, óleo e gás natural - é responsável por cerca de 6% do efeito estufa. Os outros gases envolvidos nesse efeito são os CFC (CloroFlúorCarbono), metano, vapor de água, ozônio e óxido nitroso (SINCLAIR, 1991).

Para se reduzir a emissão de gases nocivos à atmosfera, começou, então, a partir dos anos 80, uma busca por energias alternativas e renováveis que gerem o mínimo, ou não gerem, resíduos nocivos à atmosfera no seu processo de transformação.

Por este motivo, recentemente, intensificou-se, no mundo inteiro, a busca por energias que liberem menos gases nocivos à atmosfera, levando em conta que as atuais formas de produção de energia trazem, quase sempre, um impacto negativo para o meio ambiente em sua totalidade. Uma forma de alcançar este objetivo é a busca por energias que usem fontes renováveis de energia ou a escolha por energias alternativas como a eólica, das marés (força das ondas de maré) e energia a partir da biomassa.

A preocupação mundial sobre este tema gerou uma série de encontros com a finalidade de tratar do problema do efeito estufa e sua conseqüência para a humanidade. Em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, reunindo representantes de diversos países, foi estabelecida a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQMC), que reconhece o efeito estufa e as mudanças climáticas como um problema grave a ser combatido por todas as partes signatárias da convenção. Os países signatários do CQMC devem então desenvolver mecanismos e políticas públicas para o fomento do Desenvolvimento Sustentável. Em 2002, durante o Rio + 10 em Johannesburgo, por iniciativa do governo brasileiro, foi proposta uma meta de incremento de 10% de energias renováveis em todo mundo. A proposta diz que a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os

principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século (UNFCC, 2001).

Para a redução de gases que contribuem para o efeito estufa, foram estabelecidos dois grupos de países, segundo a CQMC: (a) aos países mais desenvolvidos coube assumir compromissos e obrigação de redução das emissões em função das suas responsabilidades históricas (países Anexo I); e (b) os países menos desenvolvidos, no qual o Brasil se inclui, foram chamados voluntariamente para que suas emissões sejam reduzidas através de ações apropriadas (países não Anexo I) (EPA, 1999).

Em meio a esses encontros, o da Cidade de Quioto no Japão foi o mais marcante, pois houve um acordo que ficou mundialmente conhecido como Protocolo de Quioto. Cerca de 10.000 delegados, observadores e jornalistas participaram desse evento de alto nível realizado em Quioto, Japão, em dezembro de 1997. Esse compromisso, com vinculação legal, promete produzir uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões de gases poluentes iniciadas nesses países há cerca de 150 anos.

O Protocolo de Quioto também apresenta o documento que define um instrumento econômico, o comércio de emissões, como forma de mitigar o efeito estufa e fomentar o Desenvolvimento Sustentável ao longo de todo o planeta. Os países “não Anexo I”, como o Brasil, podem então contar com recursos financeiros e, conseqüentemente, com a transferência de tecnologia dos países industrializados.

Neste Protocolo, foram definidos três mecanismos de comercialização de emissões entre as partes: “Comércio de Emissões”, “Implementação Conjunta” e o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”, sendo apenas o último aplicável a países em desenvolvimento como o Brasil.

De acordo com o Protocolo de Quioto, a União Européia (UE) tem como compromisso reduzir suas emissões de GEE para um nível 8% abaixo do verificado em 1990, entre 2008 e 2012. Já a Holanda, como parte da UE, precisa reduzir suas emissões em 6%. Para tanto, o governo holandês pretende que pelo menos 50% dessas reduções sejam feitas domesticamente. A outra parte será alcançada por meio da utilização dos mecanismos de comercialização do Protocolo, entre eles, o MDL (SENER, 2001).

Dentro deste contexto, os projetos para se evitar a liberação de gases de efeito estufa (GEE²) foram considerados bons Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. O MDL daria ao país desenvolvido que investisse em projetos de redução de GEE o Certificado de Emissões Reduzidas (CER's). Com o CER's em mãos, este país poderia atingir sua meta de redução da poluição.

Os gases que mais contribuem para os GEE são, por ordem de importância, os dióxidos de carbono, os CFC, o metano, o vapor de água, o ozônio e o óxido nitroso.

Uma das maiores fontes de emissões de metano são os aterros usados para a disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU). O gás de aterro é produzido pela decomposição anaeróbica (sem a presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Este gás é composto por aproximadamente 50% de metano (CH₄) e 40% de dióxido de carbono (CO₂), com concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis, poluentes perigosos e outros elementos. Como já mencionado anteriormente, o metano e o dióxido de carbono são considerados gases de efeito estufa; no entanto, o metano tem um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do dióxido de carbono³.

Segundo IPCC (1996), a concentração de metano aumentou em 1060 ppb (partes por bilhão) desde 1750. Esse número representa um aumento de 151% do total de emissões de metano no mundo, mais da metade é de origem antropogênica (aterros sanitários, agricultura de arroz, combustíveis fósseis e gado). Os aterros podem produzir cerca de 6 a 20% desse total de metano.

Como resultado disto, a captação e utilização do gás produzido em aterros é uma opção atrativa para a redução de gases do efeito estufa. Além disso, o metano possui uma grande energia contida nos seus átomos que faz com que o gás possa ser usado para a produção de energia elétrica através de sua combustão dentro de motores que movem turbinas. Projetos deste tipo são de grande importância, pois diferentes fontes de energia alternativa podem diversificar ou incrementar a matriz energética atualmente existente, tais como a eólica, a solar, a biomassa e também a proveniente do biogás (EPA, 1996).

² Por Gases de Efeito Estufa entende-se: dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), e família dos perfluorcarbonos e dos hidrofluorcarbonos (MIGUEZ, 2000).

³ Valor do Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP) (IPCC, 2000).

Para o sucesso de um projeto de aproveitamento do biogás de aterro para fins energéticos, necessita-se de algumas características básicas com relação ao sistema de captação e monitoramento do gás coletado no aterro sanitário em si. O biogás coletado deve ter parâmetros de qualidade do gás e de quantidade (volume) mínimos para que o projeto seja viável economicamente e operacionalmente. Deste modo há a necessidades nestes empreendimentos de haver o monitoramento constante nos poços captados de pelo menos três parâmetros, a saber: (a) a qualidade do biogás (relação de quantidade de metano e oxigênio em porcentagem); (b) a pressão exercida pelo sistema (no caso de extração ativa) e (b) o volume de gás que todos os poços de extração estão produzindo (USEPA, 1998).

Estes parâmetros indicam o comportamento de cada poço frente à pressão exercida pelo sistema, assim como fornecem subsídios para ações que resultam em uma melhor eficiência de captação de gás do aterro.

A partir desta contextualização, algumas perguntas de pesquisa puderam ser formuladas e auxiliaram na proposição dos objetivos do presente trabalho:

- No caso de um projeto de aproveitamento de biogás em um aterro sanitário, como deve se dar o monitoramento dos poços de extração de gás no aterro?
- De que modo um sistema por exaustão forçada pode influenciar no maciço do aterro na região de entorno imediato do poço de extração de gás?

1.2 Relevância da Pesquisa

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) atualmente no Brasil está na ordem de 230 mil toneladas. A gestão dos RSU no país, até então, apresenta-se em um cenário crítico, em termos de gestão de resíduos, onde, de uma forma geral, cerca de 76 % dos resíduos do país são dispostos em aterros em condições inadequadas, como as dos lixões⁴, e todos os impactos ambientais atribuídos (ao meio físico – ar, água, solo; biótico e antrópico), 22% em aterros controlados e sanitários e 2% em usinas de compostagem e a incineração

⁴ **Definições:** **Lixões:** vazadouros a céu aberto, onde o lixo é lançado sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial (Jardim et al,1995). **Aterros controlados:** locais utilizados para o despejo do lixo coletado, em que se tem o simples cuidado de, após a jornada de trabalho, cobri-lo com uma camada de terra. **Aterros sanitários:** forma de disposição mais econômica de resíduos sólidos urbanos e segura ambientalmente. Consiste na disposição do lixo coletado no solo, utilizando-se métodos de engenharia para confinar os despejos na menor área e volumes possíveis e cobri-los com uma camada de terra ao final da jornada diária ou em períodos mais freqüentes.

(CETESB, 2002). Os lixões não possuem qualquer infra-estrutura para a contenção de poluentes contidos nos resíduos sólidos e líquidos, bem como para o destino dos gases gerados, sendo, portanto, condenáveis sobre aspectos técnico e social (PROSAB, 1999).

A atuação de técnicos da área e dos governos tem permitido uma reversão do quadro exposto acima. Um exemplo disto é no Estado de São Paulo, onde houve uma redução da porcentagem de lixões para ordem de 70% até 1996, para uma situação atual onde a porcentagem se reduziu para cerca de 20% (CETESB, 2002).

Definitivamente, a prioridade em termos de saúde pública é sanar e reverter o quadro atual de gestão de resíduos no Brasil. Cientes de que a emissão de gás metano proveniente da decomposição dos resíduos sólidos orgânicos é responsável por cerca de 20 % dos gases de efeito estufa liberados por fontes antrópicas, não só em termos globais, como regional e localmente, a responsabilidade sobre a gestão dos resíduos dispostos em aterros resulta em um desafio prioritário para quem trabalha no setor.

Apesar de vários projetos e estudos apresentarem experiências bem-sucedidas na recuperação dos RSU, o montante total reaproveitado não faz frente ao total de resíduo gerado. Há também questões de ordem técnica e econômica que faz com que a alternativa de aterramento do lixo urbano se torne predominante frente a outras opções de destinação final de RSU.

Os resíduos sólidos orgânicos (RSO) contidos nos RSU depositados em aterros sofrem um processo natural de decomposição sem a presença de oxigênio por microorganismos que é chamado de decomposição anaeróbica. A degradação anaeróbica converte os compostos orgânicos em novas células bacterianas e em vários compostos que, juntos, formam o biogás. Os principais compostos do biogás de aterro são o metano (cerca de 50%) e dióxido de carbono (aproximadamente 40%). O metano é um gás com uma potencialidade calorífica grande, podendo ser usado em diversos projetos de aproveitamento do biogás de aterro como para fins diretos (casas, caldeiras), energéticos entre outros.

Nesse sentido, a oportunidade de, neste trabalho, poder apresentar os primeiros resultados do sistema de monitoramento da captação e aproveitamento do biogás do Aterro Sanitário dos Bandeirantes do Município de São Paulo,

configurando a primeira iniciativa da América Latina de conjugar um projeto de coleta e geração de energia a partir do gás de aterro, deverá reverter-se de grande importância a iniciativas que, certamente, poderão e deverão se desenvolver no País. Cabe também destacar, já nesta introdução, que o Aterro dos Bandeirantes é responsável pela gestão de cerca de um quarto de todos os resíduos sólidos urbanos gerados no Estado de São Paulo.

1.3 Objetivos do trabalho

A partir das perguntas, foram formulados os objetivos deste trabalho, que se subdividem em objetivo geral e objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Fazer um diagnóstico da produção de poços de captação de biogás no Aterro Sanitário dos Bandeirantes.

1.3.2 Objetivos específicos

No sentido de alcançar o objetivo geral, foram traçados alguns objetivos específicos, tais como:

- Avaliar o comportamento do biogás do aterro em poços com extração ativa e poços com extração passiva.
- Aplicar e avaliar uma metodologia para o monitoramento de produção de biogás nos poços captados.
- Apresentar as principais características e dificuldades de operação do sistema de monitoramento da captação de biogás em um projeto de aproveitamento do biogás de aterro.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo foi apresentada primeiramente uma introdução com a contextualização seguido da relevância da pesquisa. Também neste capítulo foi colocado os objetivos do trabalho divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

O segundo capítulo aborda a revisão da literatura. Primeiramente foi abordada a diferenciação e caracterização de lixões e aterros, seguido de uma explicação de como se dá a formação do gás em um aterro e que fatores podem influenciar. Também neste capítulo foi comentado sobre emissões de metano em aterros, a captação de gás e aterro, o sistema de coleta de gás e por fim exemplos de projetos de aproveitamento de biogás no mundo e no Brasil.

No terceiro capítulo foram feitas as descrições e as características do estudo de caso estudado no presente trabalho que consiste em: (a) o Aterro Sanitário dos Bandeirantes e (b) a Usina Termelétrica instalado dentro do Aterro.

Os materiais e métodos estão no quarto capítulo. Relata um teste de reprodutibilidade das medidas, o tipo de pesquisa, a análise da frequência de amostragem, a forma de coleta de dados e do material analisados. Também neste capítulo são explicados os tipos de aparelhos que foram usados para a coleta dos parâmetros e os tipos de análises que foram feitas e as divisões destas análises.

Os resultados e discussões das análises, vinculados aos objetivos propostos no trabalho estão no quinto capítulo. Finalmente no sexto e último capítulo estão sugestões para pesquisas futuras e na seqüência as referências bibliográficas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2 O BIOGÁS DE ATERRO E O SEU APROVEITAMENTO

Como já mencionado anteriormente na introdução deste trabalho, sendo o cenário geral do País predominantemente constituído de lixões, é obrigatório que se deixe claro que a captação do biogás tem precisa, indiscutivelmente, estar associada a uma condição ambiente ideal desses empreendimentos, contemplando uma série de atributos sanitários e sistema de drenagem eficiente, entre outros.

No caso de lixões, o não confinamento dos resíduos acaba inviabilizando o controle sobre o sistema de drenagem e captação e, ao contrário, permitindo a fuga desse biogás de forma difusa pelas superfícies expostas. Essas condições serão a não garantia de ambientes necessários a biodegradação da matéria orgânica. Neste sentido, apresentam-se, neste item do trabalho, alguns aspectos referentes a lixões e aterros sanitários, visto que essa condição é fator determinante e obrigatório para o sucesso de qualquer iniciativa desse gênero. Após estes esclarecimentos, serão apresentados, nos próximos itens deste capítulo, assuntos relacionados à formação do biogás de aterro e suas vertentes de tipo de captação e exemplos de projetos no mundo e no Brasil.

2.1 Lixões

Lixão é uma forma simples e inadequada de disposição final de resíduos sólidos sem técnicas de engenharia e sem proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Comumente os lixões atraem vetores de doenças como moscas, baratas, ratos e mosquitos além da geração de maus odores oriundos dos gases de decomposição (IPT, 1995) (Figura 1).

Como os lixões não possuem uma impermeabilização no leito do local onde se está colocando os resíduos, há a contaminação dos lençóis freáticos pelo *chorume* ou percolado. O chorume é um líquido produzido pela decomposição dos resíduos que tem características que o tornam bastante agressivo ao meio ambiente.



Fonte: IPT, 1995

Figura 1 - Desenho ilustrativo de vazadores ou lixão (IPT, 1995).

2.2 Aterros

Existem evidências de que os resíduos domésticos e agrícolas eram enterrados em trincheiras na Mesopotâmia para a produção de fertilizante orgânico, utilizado na cultura de cereais 2.500 anos antes de Cristo. Os romanos preocupados com a grande quantidade de roedores e insetos nos locais de depósito de lixo, abriam valas para aterrar os resíduos. Durante a Idade Média, a peste bubônica matou mais de 20 milhões de pessoas na Europa e desde então, técnicas mais confiáveis de manejo dos resíduos foram desenvolvidas, até surgir o que conhecemos hoje por aterro sanitário (ANDRADE, 1999).

Os aterros sanitários não são uma forma ideal de disposição final de resíduos sólidos urbanos, pois não se configuram como uma estratégia condizente com as preocupações ambientais atuais; porém, são bastante usados principalmente em países em desenvolvimento por apresentarem características como simplicidade de execução, baixo custo e capacidade de reter grandes quantidades de lixo quando comparado as demais formas de tratamento de lixo. Grande parte dos resíduos no mundo é disposta em aterros sanitários.

Segundo a norma ABNT (1987), aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário.

A técnica de disposição de resíduos em aterros sanitários consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, dispondo-os em camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, formando células, de modo a se ter uma alternância entre os resíduos e o material de cobertura. A altura total das células pode variar de 2 a 5 metros, e a espessura da camada de terra de cobertura varia de 15 a 30 cm. A compactação dos resíduos sólidos é realizada para reduzir seu volume e é feita diariamente no final de cada jornada (ENGECORPS, 1996) (Figura 2).



Figura 2 – Detalhe da etapa de cobertura e compactação do lixo no Aterro Sanitário dos Bandeirantes – SP.

Santana Filho (1992) cita as várias vantagens da utilização desse processo de disposição final dos resíduos sólidos: disposição dos resíduos de forma adequada; capacidade de absorver grande quantidade de resíduos; limitação da

procriação de vetores; limitação da ação dos catadores de resíduos sólidos; possibilidade de recuperação de áreas degradadas, para fins de lazer e recreação pública; condições especiais para decomposição biológica da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos. Os fatores limitantes desse método são: disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos; disponibilidade de material de cobertura diária; condições climáticas de operação durante o ano. As partes componentes de um aterro sanitário são: sistema de drenagem de águas pluviais, gases e chorume; cercas; portaria; balança; pátio; iluminação; tratamento de lixiviado; instalação da administração; sistema de segurança, entre outros.

Entretanto, alguns fatores limitantes como a redução na disponibilidade de áreas próximas aos conglomerados urbanos, a emissão de biogás para a atmosfera e os riscos de infiltração de chorume para o lençol freático fazem com que essa alternativa de disposição final de resíduos sólidos urbanos não seja totalmente segura (IPT, 1995).

2.1.1 Classificação de Aterros

Os aterros podem ser classificados de acordo com o tipo de resíduo sólido que é depositado. Segundo a norma NBR 10004/2004, os resíduos sólidos são classificados como: resíduos de Classe I (perigosos), resíduos de Classe IIA (não inertes) e resíduos de Classe IIB (inertes) (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade.

Classe de Risco	Característica
Classe I (Perigosos)	Apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe IIA (Não-inertes)	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém, não se enquadram como resíduo classe I ou IIB.
Classe IIB (Inertes)	Não tem nenhum constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de água.

Fonte: ABNT - NBR 10004 (2004).

Outra forma de classificar os resíduos é a usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (1998), a saber:

1. Residencial
2. Comercial
3. Varrição
4. Feiras livres
5. Serviço de saúde e hospitalares
6. Portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários
7. Industriais
8. Agrícolas
9. Entulhos

De acordo com os fundamentos de engenharia, os aterros podem ser divididos em aterro controlados e aterros sanitários.

2.1.2 Aterros Controlados

Os aterros controlados apresentam alguns princípios de engenharia básicos que visam minimizar alguns danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Neste método, há o confinamento dos resíduos sólidos cobrindo com uma camada de material inerte adequado na conclusão de cada jornada de trabalho de disposição no solo, não há impermeabilização do solo bem como a drenagem de gases (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000).

As recomendações técnicas dos aterros controlados estão descritas nas normas ABNT NBR (2004), as normas são caracterizadas como uma fase intermediária entre lixão e aterro sanitário.

2.1.3 Aterros Sanitários

É o método mais seguro de disposição final de resíduo, pois obedece a critérios específicos de engenharia. Segundo a NBR 8419/1985, a qual expõe todos os procedimentos necessários a uma correta elaboração do projeto, um aterro sanitário deve conter necessariamente (Figura 3):

- instalações de apoio;
- Sistema de drenagem de águas pluviais.
- Sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados (chorume) e de drenagem de gases formados a partir da decomposição da matéria orgânica presente no lixo.
- Impermeabilização lateral e inferior, de modo a evitar a contaminação do solo e do lençol freático.

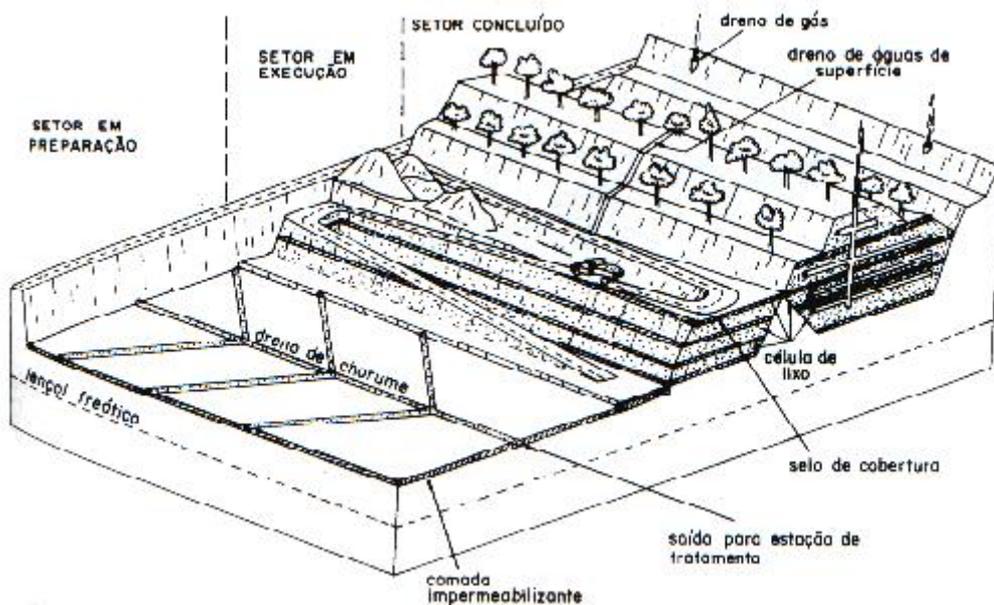


Figura 3 – Desenho esquemático de um aterro sanitário. Fonte: IPT (2000).

Os aterros sanitários apresentam características que são fundamentais para a instalação de um projeto de aproveitamento do gás gerado dos resíduos sólidos.

Assim, a seguir, vai ser apresentado, primeiramente, como se dá à formação do biogás de aterro e, logo depois, serão mostradas as etapas de captação para o aproveitamento deste gás.

2.3 Formação do gás de aterro

O gás produzido pela decomposição dos resíduos nos aterros geralmente é emitido passivamente para a atmosfera por drenos horizontais dispostos em toda

área do aterro. Este gás é chamado comumente de gás de aterro ou **biogás**, que consiste em um conjunto de gases característicos da decomposição de resíduos, entre os quais o metano representa mais de 50% do constituinte do mesmo (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição do biogás de aterro. Fonte: Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).

Composição	Porcentagem (base seco)
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrogênio	2-5
Oxigênio	0,1-1,0
Enxofre, Mercaptanas	0-1,0
Amônia	0,1-1,0
Hidrogênio	0-0,2
Monóxido de carbono	0-0,2
Gases em menor concentração	0,01-0,6

O biogás é produzido a partir da degradação da matéria orgânica sob condições anaeróbica (sem presença do oxigênio). O componente orgânico do resíduo do aterro é quebrado pelas bactérias num complexo processo biológico que produz metano, dióxido de carbono e outros gases.

Naturalmente os aterros são considerados heterogêneos, isto é, não existe um aterro com características iguais. Investigações em populações microbianas mostram consideráveis diferenças entre populações microbianas de aterros (WESTLAKE, 1990).

O metano (CH₄) é o constituinte do biogás de maior interesse para qualquer projeto de aproveitamento do biogás de aterro sanitário, pois, como já mencionado anteriormente no presente trabalho, o metano possui propriedades as quais o incluem na lista dos principais gases de efeito estufa.

A matéria orgânica complexada é degradada através de uma série de operações consecutivas, sendo primeiramente transformada em vários produtos intermediários como ácidos orgânicos voláteis (AOV), álcool e posteriormente transformada em biogás (PARK *et al.*, 1999). A Figura 4 mostra as fases de uma biodegradação sem interferência de resíduos sólidos que a matéria orgânica passa até a geração do gás metano e a formação do percolato (chorume) (Figura 4).

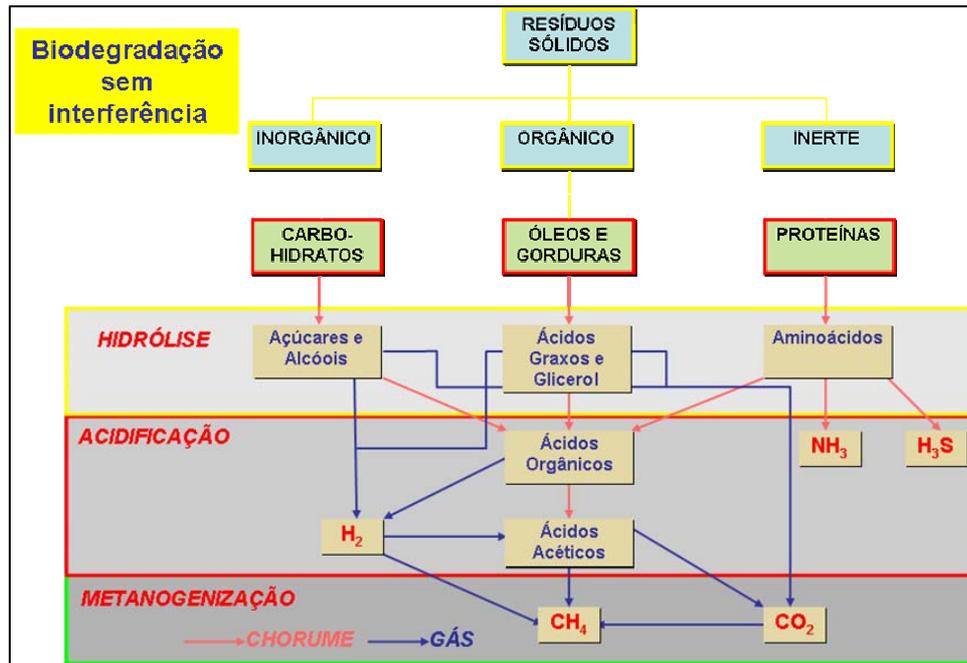


Figura 4 – Fases da biodegradação sem interferência dos resíduos sólidos urbanos segundo Park *et. Al* (1999).

Estudos feitos no período de 1990 a 1994 mostram que a quantidade de emissão de metano gerado por resíduos sólidos no Brasil em 1990 e 1994 foi de 618.000 toneladas e 677.000 toneladas respectivamente (IPCC, 1996).

2.3.1 Influência dos Fatores Ambientais

A formação do metano em aterros é influenciada por características ambientais, tais como:

2.3.2 Quantidade e composição do resíduo

A quantidade de metano produzido depende diretamente da quantidade de resíduos orgânicos dispostos no aterro. No entanto, a emissão de metano continua por décadas depois de encerrada a operação do aterro.

A composição dos resíduos influi também diretamente na quantidade e na qualidade do metano produzido. Quanto mais biodegradável a fração orgânica dos resíduos, mais rápida será a taxa de produção de gás no aterro. Resíduos alimentícios são os mais facilmente biodegradados, por outro lado às podas de

árvore com pedaços grandes de galhos não contribuem significativamente para a produção de gás no aterro.

Existem modelos de produção de gás em aterros baseados a partir dos componentes lentamente e rapidamente biodegradáveis de resíduos e a da constituição química de cada um de seus elementos. Tchobanoglous, Thessen & Vigil (1993) desenvolveram um modelo que classifica os materiais orgânicos presentes nos resíduos em: (1) materiais que se decompõem rapidamente (duração de três meses a cinco anos) e (2) materiais que se decompõem lentamente (até 50 anos ou mais) (Tabela 3).

Tabela 3 – Caracterização dos constituintes orgânicos biodegradáveis segundo Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).

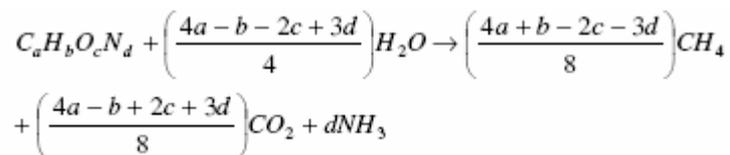
Componentes de Resíduos Orgânicos	Rapidamente Biodegradável	Lentamente Biodegradável
Resíduos de Comida	Sim	
Papel de Jornal	Sim	
Papel de Escritório	Sim	
Papelão	Sim	
Plásticos ^a		Sim
Têxteis		Sim
Borracha		Sim
Couro		Sim
Resíduos de Jardim	Sim ^b	Sim ^c
Madeira		Sim
Orgânicos Variados		Sim

^aOs plásticos são considerados como biodegradáveis.

^bFolhas e recortes de grama.

^cPorções lenhosas de resíduos

A equação usada neste modelo (equação abaixo) pressupõe a conversão completa de resíduos orgânicos biodegradáveis em CO₂ e CH₄.



Os parâmetros “a”, “b”, “c” e “d” da equação são obtidos através da relação molar dos elementos químicos de composição dos resíduos orgânicos rapidamente e lentamente degradáveis divididos pelo mol de nitrogênio. O peso

de cada elemento químico relacionado aos componentes dos resíduos é apresentado na (Tabela 4).

Tabela 4 – Componentes dos resíduos orgânicos decompostos e seus elementos químicos. Fonte: Tchobanoglous *et. al.*, (1993).

Componentes	Peso húmido (kg)	Peso seco (kg)	Composição (kg)				
			C	H	O	N	Cinzas
Constituintes orgânicos rapidamente decompostos							
Resíduos de comida	9,0	2,7	1,30	0,17	1,02	0,07	0,14
Papel	34,0	32,0	13,92	1,92	14,08	0,10	1,92
Papelão	6,0	5,7	2,51	0,34	2,54	0,02	0,29
Resíduos de jardim	11,1	4,4	2,10	0,26	1,67	0,15	0,20
Total	60,1	44,8	19,83	2,69	19,31	0,34	2,55
Constituintes orgânicos lentamente decompostos							
Têxteis	2,0	1,8	0,99	0,12	0,56	0,08	0,05
Borracha	0,5	0,5	0,39	0,05	–	0,01	0,05
Couro	0,5	0,4	0,24	0,03	0,05	0,04	0,04
Resíduos de jardim	7,4	3,0	1,43	0,18	1,14	0,10	0,13
Madeira	2,0	1,6	0,79	0,10	0,69	–	0,02
Total	12,4	7,3	3,84	0,48	2,44	0,23	0,29

2.3.3 Nutrientes

Bactérias que geram metano precisam de cátions de nitrogênio, fósforo, sulfato, sódio, e cálcio para as células crescerem. Os cátions (Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} , Fe^{++}), ânions (Cl^- , SO_4^{-2}) e traços de elementos considerados como micronutrientes (Co, Cu, Mn, Mo, Zn, Ni, Se,) servem como co-fatores para várias enzimas para a biossíntese dos componentes celulares.

2.3.4 Constituintes da Mistura

As bactérias precisam também de água para a célula crescer e as reações metabólicas. A umidade no aterro vem principalmente por precipitação. Em geral, a geração de metano ocorre lentamente em lugares áridos.

2.3.5 Temperatura

Cada microorganismo tem a sua chamada temperatura ótima de crescimento a qual apresenta maior velocidade de crescimento. Para qualquer microorganismo existe uma temperatura máxima e mínima da qual não ocorre crescimento celular. Em geral, maiores temperaturas em aterros aceleram o crescimento de bactérias metanogênicas. A temperatura do resíduo depende da profundidade, do número de células do aterro e do clima.

Os microorganismos anaeróbicos são mais sensíveis do que aeróbios. No maciço do aterro, as bactérias metanogênicas são mais sensíveis do que as acidogênicas, portanto um aumento de ácidos voláteis pode ser o resultado de baixas temperaturas porque a velocidade das metanogênicas é afetada e, conseqüentemente, há uma queda de pH.

2.3.6 pH (Potencial Hidrogeniônico)

O pH é o log negativo de base 10 da concentração molar de íons hidrogênio (H^+) de uma dada substância ($pH: -\log [H^+]$). A escala de pH foi criada pelos químicos, ela é eficaz para classificar as substâncias em ácidas ou básicas. A escala vai de 0 a 14 sendo que o 7 é considerado neutro a 25°C.

Se o pH tiver um valor menor de 6,3 ou superior a 7,8 a concentração de bactérias metanogênicas diminui rapidamente (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Em sistemas onde existe uma série de microrganismos atuando em forma de consórcios, deve-se buscar a faixa de pH onde se propicia o crescimento máximo da maior parte dos microrganismos envolvidos (SOARES, 1990).

2.3.7 Fases de formação do biogás no aterro

A formação e a taxa de formação dos constituintes do biogás são variáveis ao longo do tempo e seguem várias fases distintas que podem ser vistas na Figura 5.

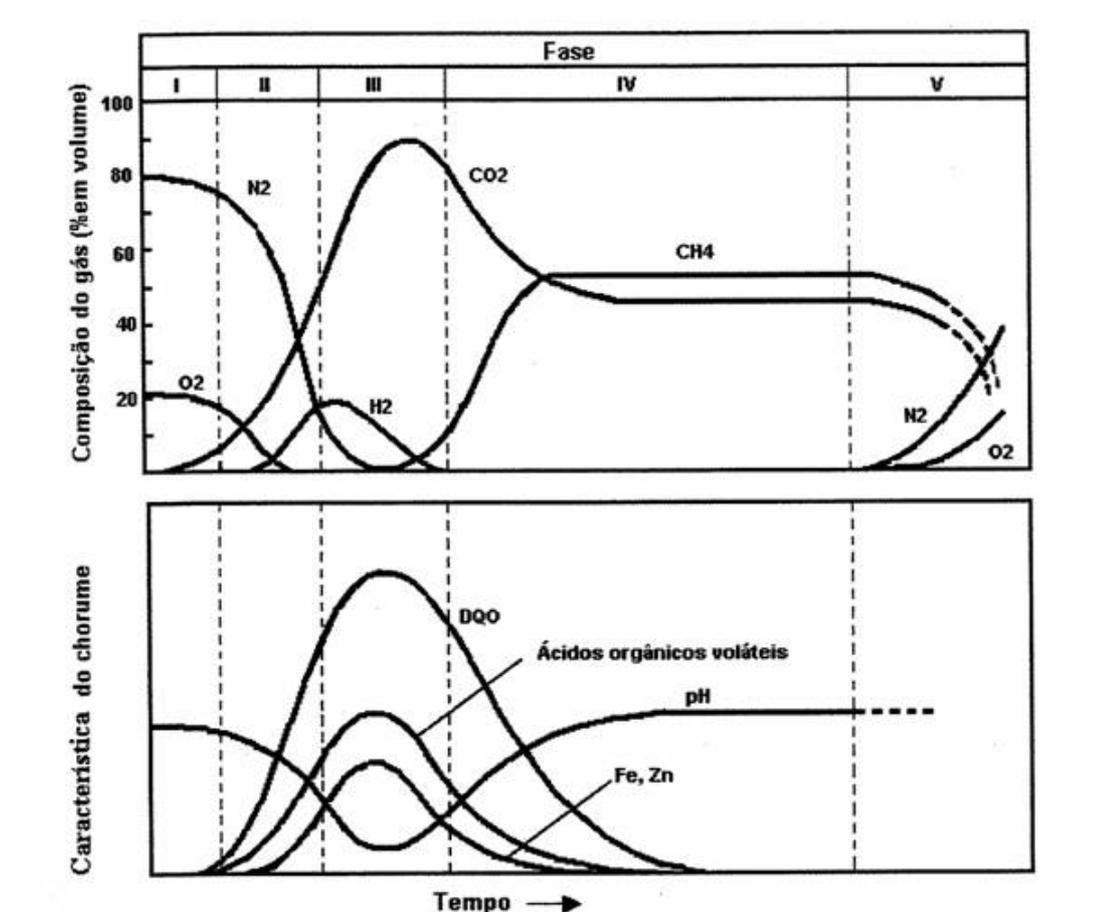


Figura 5 – Fases de formação do biogás em aterros. Adaptado de Tchobanoglous, Theisen & Vinil (1993).

Pohland *et al.* (1985) e Pohland & Harper (1986) definem cinco fases que ocorrem durante a decomposição da matéria orgânica em um aterro. Essas fases são manifestações da evolução dos resíduos, cuja variação da qualidade e quantidade dos lixiviados e gases produzidos são os parâmetros indicativos. As fases estão descritas a seguir (Figura 5):

Fase 1 - Inicial:

- Deposição inicial do lixo e acúmulo de umidade.

- Fechamento de cada sessão do aterro e assentamento inicial do terreno.
- Primeiras mudanças nos parâmetros ambientais são detectadas, revelando o início do processo de estabilização.

Fase 2 - Transição:

- Capacidade de campo é exercida e o chorume é formado.
- Transição da condição aeróbia para a anaeróbia.
- Receptor primário de elétrons passa de oxigênio para nitratos e sulfatos.
- Potencial redox decresce no sentido de estabelecer condições redutoras.
- Aparecimento de produtos metabólicos intermediários, ácidos orgânicos voláteis (AOV) no chorume.

Fase 3 – Acidificação ou Hidrólise:

- AOV se torna predominante com a contínua hidrólise e fermentação dos resíduos orgânicos.
- Queda do pH, causando mobilização e possível complexação de metais pesados.
- Liberação e assimilação de nutrientes importantes, como nitrogênio e fósforo.
- Aparecimento de hidrogênio que vai controlar a natureza dos metabólicos intermediários.

Fase 4 – Metanogênese:

- Consumo dos produtos intermediários para formação de metano e dióxido de carbono (biogás).
- Estabilização do pH em valor controlado pelo tampão bicarbonato e concentração de AOV.
- Potencial redox está no valor mínimo;
- Consumo contínuo de nutrientes.
- Complexação e precipitação de metais pesados.
- Concentração de orgânicos no chorume decresce devido à conversão a biogás.

Fase 5 - Maturação Final:

- Relativa dormência da atividade biológica, comparada com a intensa atividade anterior de estabilização dos constituintes mais biodegradáveis.
- Nutrientes podem se tornar limitantes.
- Redução ou mesmo cessação da produção de gás.
- Aumento do potencial redox e reaparecimento do oxigênio e de espécies oxigenadas.
- Conversão dos compostos orgânicos mais biorrecalcitrantes e produção de substâncias húmicas capazes de complexar e re-mobilizar metais pesados.

2.4 Emissão de metano de aterros sanitários

Na questão do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, o biogás de aterro é o último subproduto de uma seqüência que vem desde sua formação (fabricação de embalagens e produtos alimentícios, por exemplo) até sua disposição final (nos aterros sanitários). Assim sendo, antes da geração deste subproduto projetos como a coleta seletiva e a reciclagem, além de palestras sobre os padrões de consumo da sociedade moderna, são importantes para conscientização e possível mudança de comportamento dos indivíduos, tendo em vista à redução da geração de resíduos e, conseqüentemente, a diminuição do volume total no destino final dos resíduos.

Hoje é estimado que os aterros sanitários produzam, no mundo, um total entre 20 e 60 milhões de toneladas de metano por ano. Dois terços dessas emissões são de países do chamado primeiro mundo, sendo que onze destes países representam 70 % das emissões. Os EUA são os maiores emissores, seguidos da China, Canadá, Reino Unido e Comunidade dos Estados Independentes. Com o crescimento da população mundial e seu equivocado padrão de consumo, a tendência das emissões de metano através do biogás de aterro é aumentar.

O volume e a carga de emissão de metano num aterro são funções da quantidade total de matéria orgânica disposta, de seu conteúdo de umidade, das técnicas de compactação, da temperatura, do tipo de resíduo e do tamanho das

partículas. Embora as taxas de emissão de metano decresçam após o encerramento do aterro (à medida que a fração orgânica decresce), um aterro continuará, tipicamente, a emitir metano durante muitos (20 ou mais) anos após seu encerramento (EPA, 1996).

O metano proveniente dos aterros contribui consideravelmente para as emissões globais de metano. As estimativas das emissões globais de metano, proveniente dos aterros, oscilam entre 20 e 70 T/ano, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 T/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20 % do total de metano (IPCC, 1995).

Em 1995, eram 241.614 toneladas de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente no Brasil, onde cerca de 90.000 toneladas por dia era de resíduos sólidos domésticos (algo em torno de 32 milhões de toneladas por ano) dispostos, a maioria, a céu aberto (JARDIM *et al*, 1995). A disposição final e o tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, conforme IBGE (2000) é de: 88% em céu aberto (lixão); 10% em aterro sanitário; 2% em usina de compostagem e usina de incineração. Segundo um estudo da CETESB (1996), cerca de 810 mil toneladas de metano foram geradas em 1994 em São Paulo, com 84% desse total sendo resultante de resíduos sólidos urbanos.

Segundo USEPA (1996), há basicamente duas alternativas para a redução de emissões de metano em aterros e lixões. A primeira é a captação e extração do gás do aterro através de drenos, assim destinando o gás para alguma alternativa que leve a destruição total (queima a altas temperaturas ou queima em motores para a geração de energia, por exemplo). A segunda é a redução da disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários, assim evitando a produção do gás no futuro (coleta seletiva, por exemplo).

Em relação às alternativas de uso do metano por captação, existem as seguintes opções, a saber:

- Uso direto do gás. Um gás de média qualidade (30% a 50% de metano) pode ser usado por residências ou indústrias para aquecimento de caldeiras ou gás de fogão.
- Geração de Eletricidade. O gás captado pode ser usado como combustível de um gerador de energia. A energia pode ser usada no próprio local ou conduzida por uma rede de eletricidade.

- Produção de Vapor. O gás gerado no aterro pode ser usado para produzir vapor o qual pode ser usado para calefação de casas.
- Queimadores (*Flaring*). Este é a mais simples alternativa de uso do biogás. Necessita-se de pouco capital em relação às alternativas de uso, mas o valor de energia do metano é desperdiçado. Não obstante, é uma alternativa de redução de emissão em pequenos aterros, onde os valores de vazão de gás não suportam economicamente um projeto de captação e reutilização do gás.

Aliado ao reaproveitamento energético dos resíduos já gerados, deve ser paralelamente incentivado a eliminação junto à fonte, através do estabelecimento de legislação específica para embalagens e incentivo à educação ambiental (CETESB, 2002).

2.5 Captação do Gás de Aterro

Um projeto de aproveitamento do biogás gerado em um aterro é importante não somente para aspectos climáticos globais, mas também regional e local. Dentre os vários efeitos maléficos em regiões ao entorno de aterros, o biogás pode causar prejuízos à saúde humana, como câncer e doenças que atacam o fígado, rins, pulmões e o sistema nervoso central. Pode também levar ao meio ambiente local prejuízos à vegetação decorrentes da formação do ozônio em baixas altitudes; e, por fim, o biogás gera odores desagradáveis para populações vizinhas ao aterro e pode favorecer a desvalorização das propriedades ao entorno do aterro.

O plano de captação do biogás em um aterro deve começar desde início do planejamento de construção, desde a escolha do local até o fim da última célula de resíduo sólido. A estrutura mais importante no início da construção de um aterro para um sucesso futuro de aproveitamento do gás de aterro é o sistema de drenagem de biogás e percolado do maciço de resíduos. Para o dimensionamento do sistema de drenagem, é fundamental conhecer a vazão a ser drenada e as condicionantes geométricas da massa de resíduos sólidos.

Basicamente as etapas consistem em primeiramente se isolar o leito do aterro com camadas de geo-membranas de polietileno de alta densidade (PEAD),

que protegem integralmente o solo natural e os lençóis freáticos de qualquer contato com o percolato gerado pelos resíduos depositados.

A drenagem do percolato chamado de chorume (líquido da origem da decomposição do lixo) e do biogás é construída à medida que o aterro está em operação.

Os drenos usados para a coleta e transporte de líquidos percolados são constituídos por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo, ou sobre a camada de aterro impermeabilizante, e preenchidas com material filtrante. O sistema de drenagem de gases tem a função de evitar a migração através de meios porosos que constituem o subsolo, podendo se acumular em redes de esgoto, fossas, poços e sob edificações (internas e externas ao aterro sanitário).

Quando a altura do aterro for aumentando, segmentos adicionais de tubo vão sendo colocados para aumentar os drenos de gases verticais. Os drenos verticais, também chamados de PDR's, são interligados um ao outro por drenos horizontais (LIMA, 1988). As seqüências de Figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram melhor este processo:



Figura 6 – Etapa de impermeabilização do terreno do futuro aterro sanitário. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.

A Figura 6 ilustra o processo de construção do leito do aterro e seus drenos de gás e chorume. A Figura 7 abaixo mostra a construção das laterais do aterro também com os drenos horizontais e verticais.



Figura 7 - Etapa de impermeabilização do terreno do futuro aterro sanitário com os drenos horizontais e verticais. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.

A Figura 8 ilustra como se apresenta o dreno horizontal e vertical do aterro depois de construído e mostra, no detalhe, o dreno vertical em pleno funcionamento. Quando o dreno vertical começa a evidenciar saída de gás, põe-se fogo para se queimar pelo menos uma parte do poluente.



Figura 8 – Sistema de drenagem de gás e chorume. Na foto, temos o dreno horizontal e vertical e o dreno queimando gás após acomodamento dos resíduos. Foto do Aterro dos Bandeirantes – SP.

A Figura 9 mostra como se constitui um dreno em perfil de um dreno no maciço do aterro sanitário e como o dreno horizontal e vertical é construído de acordo com a disposição do lixo no aterro.

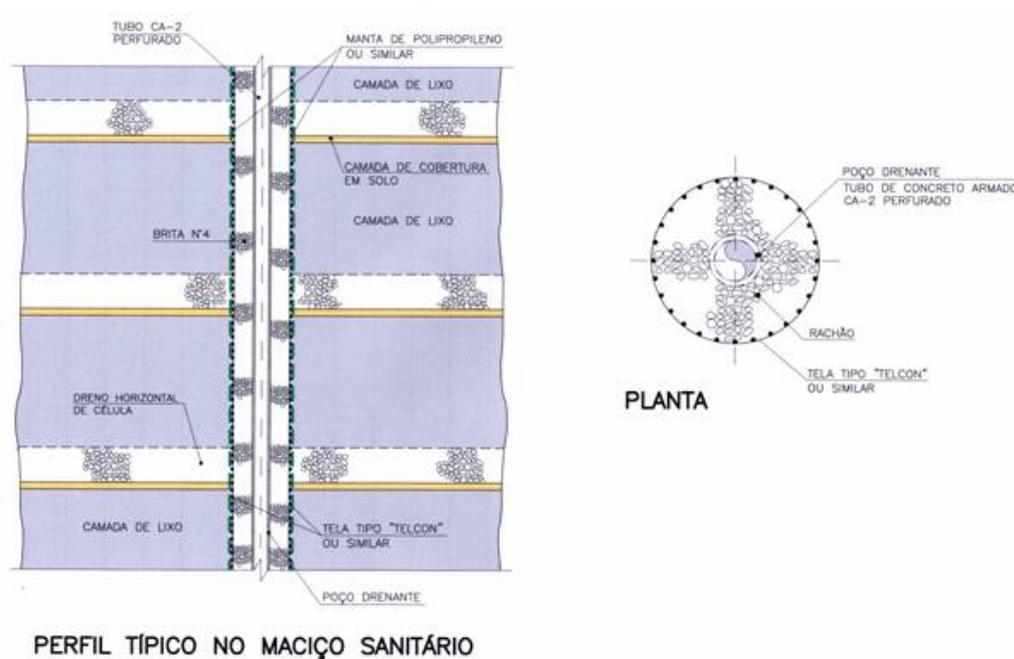


Figura 9 – Esquema do perfil típico de um dreno no maciço do aterro sanitário (Fonte: Biogás Energia Ambiental S. A).

Segundo o Banco Mundial, um Aterro Sanitário pode ser como um candidato a um projeto de utilização de biogás por uma série de critérios, que incluem:

- Idade do aterro sanitário e capacidade futura.
- Práticas modernas de aterro sanitário, incluindo o uso de membrana e de um sistema de drenagem do percolado (chorume), bem como a instalação de um sistema de cobertura de baixa permeabilidade.
- A deposição contínua e a futura capacidade do aterro resultam num potencial significativo de recuperação de biogás para um projeto de utilização desse combustível.

Antes de se realizar o sistema de coleta de biogás de um aterro sanitário, é necessário realizar um estudo geral para que o projeto se justifique. Esse levantamento de dados, de modo geral, pode abordar os seguintes dados:

- Revisão das condições do local e das informações disponíveis, incluindo a quantidade e composição dos resíduos, o tipo e a configuração do aterro, os dados meteorológicos, as práticas de tratamento do percolado e as taxas em que é gerado.
- Visita ao local para observar características e operações do aterro; encontro com o proprietário/operador do aterro e realização de análises de campo; reconhecimento das áreas vizinhas para avaliar a viabilidade de se desenvolver um projeto de utilização do gás.
- Estimativa do potencial de recuperação do biogás usando modelagem computacional baseada na informação disponível, em dados de testes de campo e na experiência de engenharia com aterros semelhantes.
- Quantificação do potencial de recuperação de energia e dos benefícios ambientais através de reduções de emissões atmosféricas ao longo do tempo.
- Identificação de esquemas institucionais, de mercado e de negócios que provavelmente estariam envolvidos na implementação de um projeto de utilização e recuperação de biogás.
- Avaliação das tendências atuais e futuras do setor de eletricidade no país e na região e de seus potenciais impactos sobre um projeto de energia gerada com biogás.
- Preparação de um modelo conceitual para o sistema de coleta e utilização do gás a fim de avaliar os custos de capital envolvidos.

- Estimativa do custo da implementação dos mecanismos de recuperação de energia identificados acima, incluindo custos de capital e operacional.
- Avaliação dos custos do projeto, incluindo identificação dos custos de capital e operacional e das fontes de receita.
- Desenvolvimento de um plano para a implementação de um projeto de recuperação e utilização de gás no aterro, incluindo a identificação dos passos envolvidos e a definição de um esquema geral de implementação do projeto.

Basicamente existem dois tipos de sistema de drenagem do biogás de aterro (USEPA, 1996) (Figura 10 e Figura 11):

1. **O passivo:** tem como maior finalidade drenar gases para a atmosfera evitando a emissão descontrolada para a superfície e evitar a migração de gases para áreas vizinhas do aterro evitando o risco de explosão. Neste sistema, a eficiência de combustão é de 90%, mas a eficiência de destruição de biogás produzido em todo aterro varia de 5 a 20% pelo fato da área de influência do poço ser menor (Figura 10). Como representada nas figuras abaixo, a área de influência dos dois tipos de drenagem também se difere; sendo que o sistema ativo consegue influenciar uma área maior, pois trabalha com uma pressão negativa.

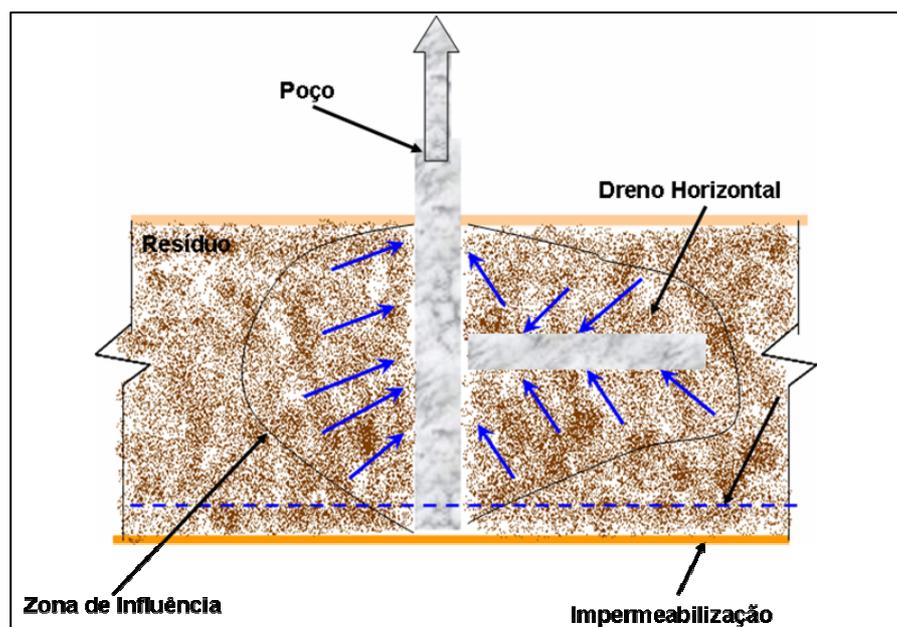


Figura 10 – Esquema de influência no maciço do aterro de um poço de drenagem com o sistema passivo (Fonte: USEPA (1996)).

2. **O ativo:** abrange sopradores de compressores e é usado para projetos de aproveitamento energético do biogás. O sistema tem que ser coberto com um material impermeável para evitar que o gás saia na superfície do aterro e que entre oxigênio atmosférico no sistema. Conseqüentemente, a eficiência de coleta pode chegar a 80% em relação ao total de gás produzido no aterro e a eficiência de destruição do gás pode chegar a 99% (ENSINAS, 2003) (Figura 11).

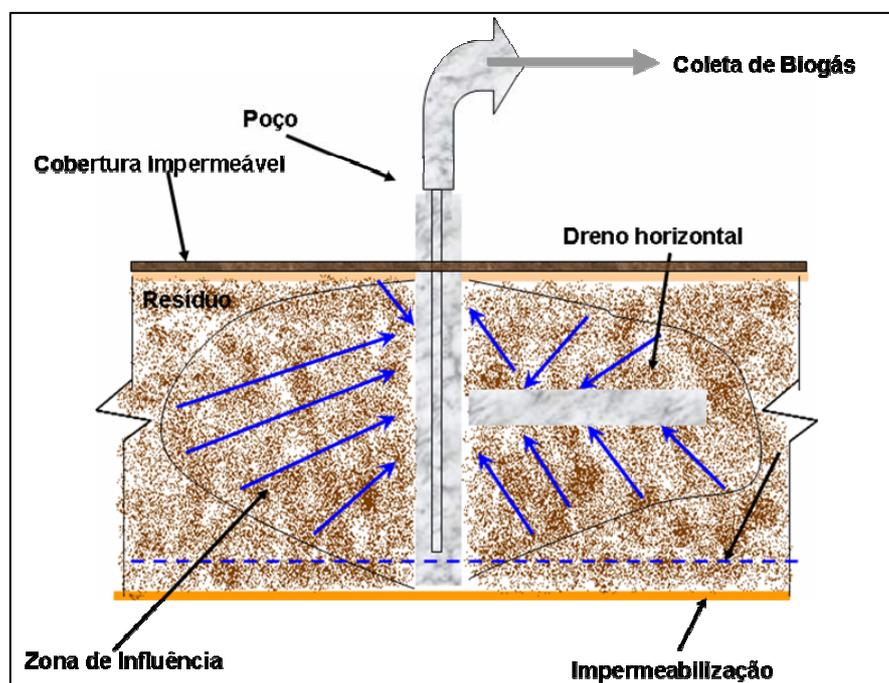


Figura 11 – Esquema de influência no maciço do aterro de um poço de drenagem com o sistema ativo (Fonte: USEPA (1996)).

Após a análise desses critérios, passa-se para a fase de captação do gás para o posterior aproveitamento do biogás.

2.6 Sistema de Coleta do Gás

Aqui foi descrito as principais características de um sistema de captação de biogás de aterro tomando como exemplo o estudo de caso do presente trabalho.

A metodologia de construção do sistema de coleta descrito aqui é usada em outros projetos de aproveitamento do biogás de aterros sanitários em outros

países (MUYLAERT, 2000). A instalação de um sistema de captação em qualquer aterro sanitário que ainda está em fase operação deve dar prioridade total à operação do aterro (deposição de lixo e o seu gerenciamento), pois se trata de um trabalho volumoso, contínuo e essencial para a população beneficiada.

Por definição, adotou-se, no estudo de caso do presente trabalho, “Sistema de Captação” como o “consiste em todas as instalações de campo (poços de coleta, coletores de campo, drenos, etc.) e respectivas tubulações até o ponto de entrega (coletor de entrada na Usina de Gás)”. O Sistema de Captação não tem componentes com partes móveis tais como motores ou similares, é constituído basicamente de tubulações, coletores e válvulas.

A primeira etapa de um sistema de coleta de biogás de aterro é a transformação dos drenos verticais já construídos no aterro sanitário em Cabeçotes ou Poços de Biogás (PB) (Figura 12). De modo geral, esta técnica consiste em adaptar o dreno de gás já existente e instalar estruturas adequadas para que o gás possa ser canalizado para a central de aproveitamento com a mesma qualidade com que sai do dreno de gás do aterro (PDR) (WILLUMSEN, 2001) (Figura 12). Os PDR são tubos perfurados de concreto, diâmetro 600 mm, envolvidos com camada de rachão e são de responsabilidade da operação do Aterro.

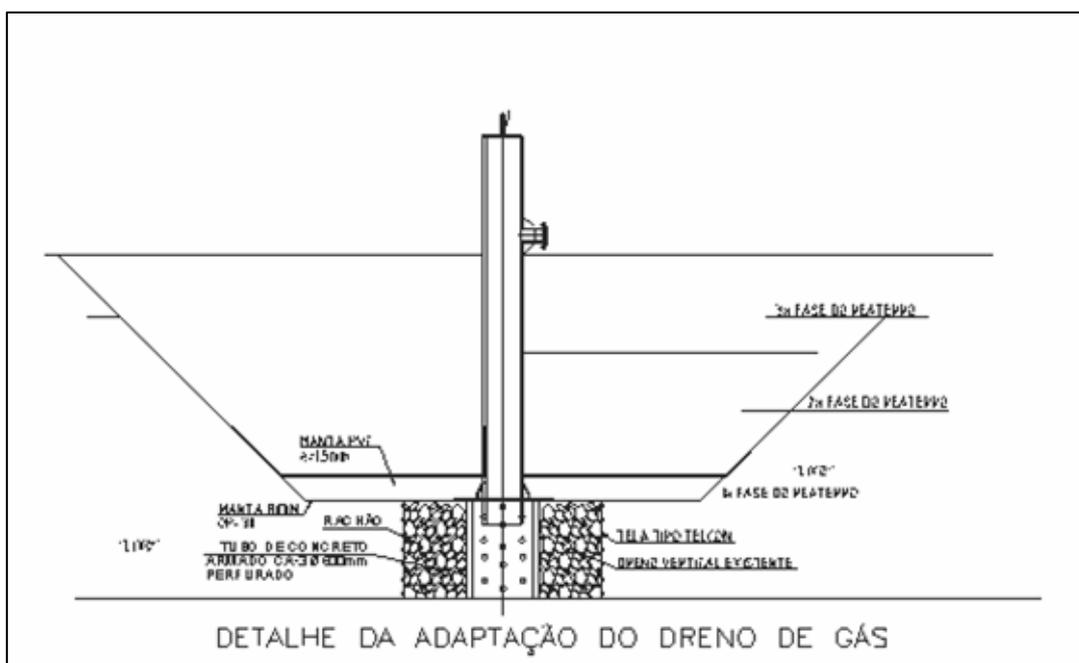


Figura 12 – Desenho esquemático de um poço de captação de gás usado no projeto do Aterro dos Bandeirantes.

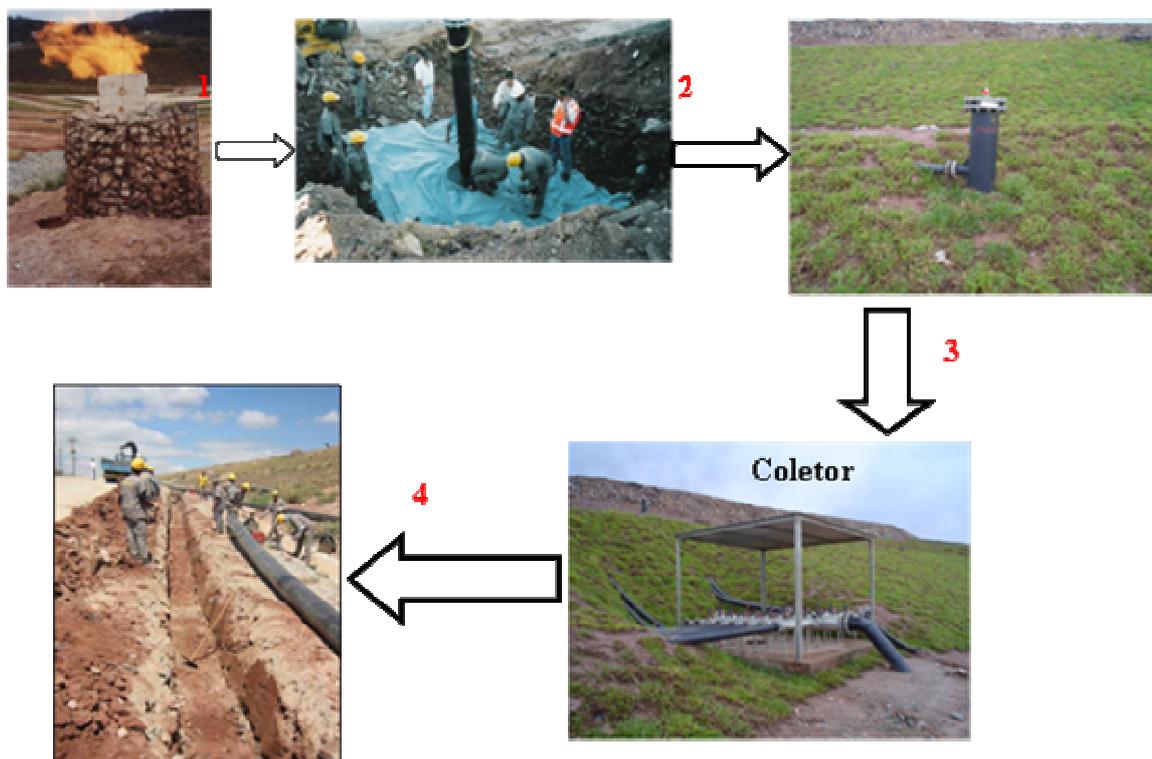


Figura 13 – Ilustração da transformação de PDR em PB no Aterro dos Bandeirantes (SP).

A Figura 13 ilustra as etapas para maior entendimento da descrição da técnica de se converter os drenos (PDR) em poços (PB's):

1. Escava-se uma vala em volta do poço de drenagem (PDR) e desmonta-se o PDR que se constitui em uma tubulação de concreto envolvido por uma tela de ferro com pedregulhos ou rachão no seu interior.
2. Coloca-se o Poço de PEAD com uma manta de PEAD em sua volta para se evitar a fuga do gás e a possível entrada do oxigênio atmosférico quando succionado.
3. Com o Poço de Biogás (PB) já instalado no talude, o aterro liga-se a uma tubulação de PEAD do PB, o qual o gás é aspirado de cada poço, até os coletores (CLT) (Figura 14).
4. Conectado nos Coletores, o gás é direcionado para a uma tubulação de maior diâmetro denominado de linha principal; A linha principal é composta também por tubos de PEAD que conduzem o gás para o coletor de entrada da Central de Gás (Usina).

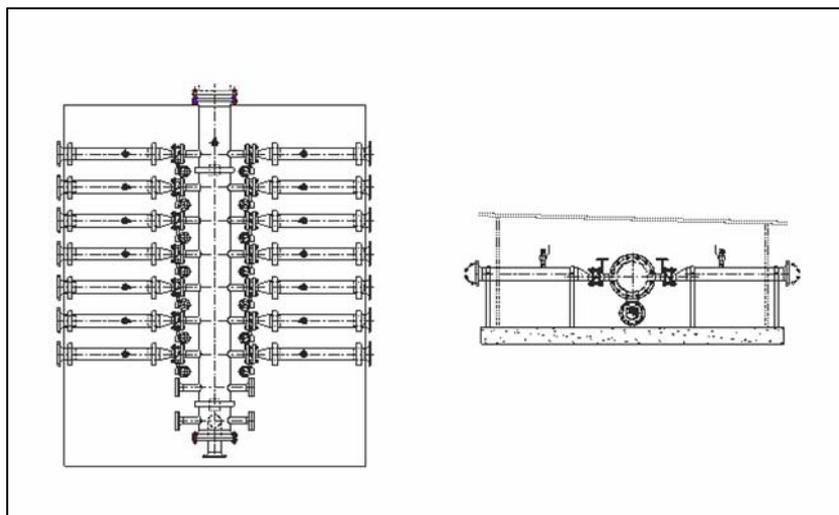


Figura 14 – Desenho esquemático do coletor (CLT) de biogás usado no projeto do Aterro dos Bandeirantes.

No caso do Projeto de aproveitamento de biogás da Usina Termelétrica de Biogás de São Paulo, hoje estão instalados aproximadamente 8 quilômetros de tubulação de linha secundária (poço – coletor) e mais 8 quilômetros de tubulação de linha principal (coletores – central) e aproximadamente 190 poços em operação formando uma rede que cobre quase a totalidade do aterro (Figura 15).

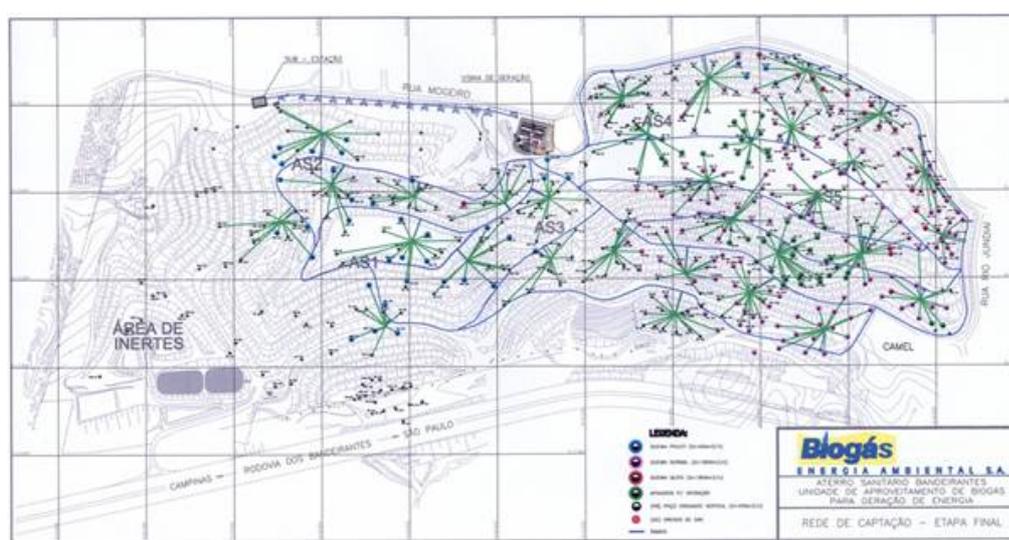


Figura 15 – Sistema de captação final de Projeto de aproveitamento de biogás de aterro para a UTE Bandeirantes. Legenda: em verde o sistema de captação de tubulação (Φ 110mm); em azul a tubulação da linha principal (Φ 315mm); os pontos vermelhos são os PB's ligados nos respectivos coletores.

Aqui finaliza a apresentação das características do sistema de captação dentro da área do aterro sanitário. No Capítulo 3 (estudo de caso), serão descritas as etapas pelas qual o biogás captado do aterro passa a partir da entrada na Usina de Gás.

2.7 Projetos de Aproveitamento do Biogás

O inevitável esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a crescente procura por combustíveis alternativos e ambientalmente sustentáveis levam ao desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento dos resíduos. Além de incentivar a racionalização do uso dos recursos naturais, minimizando o consumo de matérias primas e desenvolvendo mecanismos de redução da geração de resíduos, seu aproveitamento visa aperfeiçoar a matriz energética, utilizando um combustível renovável e abundante (CETESB, 2002).

O gás produzido em aterros possui uma grande energia contida principalmente por se tratar de um gás altamente comburentes. O seu poder calorífico é de 14,9 a 20,5 MJ/m³), ou aproximadamente 5.800 Kcal/m³ (MUYLAERT, 2000).

A partir disto, surgiram tecnologias e projetos de captação de biogás em aterros que têm, como maior finalidade, o aproveitamento da energia contida neste produto oriundo da decomposição do lixo. A seguir serão colocados alguns exemplos de projetos de aproveitamento do biogás mais direcionados para fins de geração de energia,

2.7.1 Projetos no Mundo

Um dos primeiros projetos de aproveitamento do biogás para a geração de energia nos EUA foi realizado em *Rolling Hills*, Califórnia, no aterro *Palos Verdes* em 1975. O gás era coletado e vendido para a Companhia de Gás “*Southern California*”. Outros projetos foram implantados ainda na mesma década como o *Mountain View* (1978) e *Monterey Park* (1979) (USEPA, 1996).

Hoje existem no mundo cerca de 950 plantas de captação de biogás de aterro em todo mundo. Até o ano de 2001 havia somente nos Estados Unidos cerca de 330 aterros em operação utilizando o gás metano para aproveitamento

energético. Atualmente, estes projetos de aproveitamento do gás de aterro estão concentrados, em sua maioria, nos Estados Unidos e na Europa. No Reino Unido, os projetos de aproveitamento do gás de aterro foram iniciados em 1981 com o uso comercial do biogás, substituindo combustíveis fósseis (MOSS *et al.*, 1991). Em janeiro de 1993, já existiam no país cerca de treze projetos com uso do biogás e 42 instalações gerando ao todo 72 MW de eletricidade (BROWN & MAUNDER, 1994).

Recentemente países como os EUA e o Reino Unido possuem projetos para redução do metano gerado nos aterros em até 50 % nas próximas décadas, gerando ganhos de créditos de carbono e geração de energia, além de mais uma oportunidade de diminuição do custo de captação e disposição do lixo domiciliar nas grandes cidades e a conseqüente geração de empregos diretos e indiretos.

2.7.2 Projetos no Brasil

No Brasil, o tratamento de gases em aterros sanitários é praticamente todo feito através da queima do metano (CH₄) e liberação do dióxido de carbono (CO₂). Em geral, o sistema de drenagem de gases é individual (tipo aberta) utilizando-se queimadores do tipo *flare*, havendo algumas exceções em sistemas conjugados de drenagem, com extração forçada de gás. O tratamento de gás com queima do tipo aberta não é o mais aconselhado uma vez que a queima não é completa (queima entre 300 a 400°C), como acontece nos queimadores do tipo enclausurado (queima acima dos 1000°C). A queima total do metano se dá somente acima dos 1000°C. Esta combustão incompleta ou a baixas temperaturas, além de não garantir a transformação do metano (CH₄) em dióxido de carbono (CO₂), pode resultar na liberação de compostos tóxicos, que poderiam ser destruídos pela ação de elevadas temperaturas.

Em países em desenvolvimento como o Brasil e a China, existe um evidente potencial para se expandir programas de recuperação do metano como os que vão ser citados a seguir (HENRIQUES, 2004).

Em 1977, o gás do Aterro Caju localizado as margens da Baía de Guanabara a 8 Km da Cidade do Rio de Janeiro o biogás coletado pela CEG (Companhia Estadual de Gás) juntamente com a COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana) o qual o biogás, depois de purificado, era

adicionado ao gás craqueado de nafta que abastecia a cidade para uso residencial através de um gasoduto de 4 Km. O projeto todo teve duração de 10 anos, mas já em 1980 iniciou-se o aproveitamento do gás para o abastecimento da frota da COMLURB e de táxis (COMLURB, 2005). Esse projeto recuperou cerca de 10 milhões de metros cúbicos de biogás, e análises feitas pela COMLURB ainda verificam a presença de gás com capacidade economicamente viável de aproveitamento do biogás.

Em 1981, a COMGÁS (Companhia de Gás de São Paulo) distribuía o gás de um aterro localizado na Rodovia Raposo Tavares para um conjunto residencial (DANESE, 1981).

A cidade de Natal possui um aterro em que se depositava, na década de 80, cerca de 500 toneladas diárias de lixo. Em 1983, elaborou-se um plano que abrangia três vertentes para o aproveitamento do potencial do gás do aterro: (a) biogás para uma cozinha comunitária para moradores de baixa renda da comunidade próxima ao aterro; (b) biogás para uma rede de distribuição conectada diretamente a uma comunidade de 150 habitantes; e (c) uma ligação à alimentação de uma caldeira da indústria de castanha de caju.

Depois do ano de 2003, após crises relacionadas ao preço do petróleo, começaram a surgir algumas experiências de aproveitamento energético do gás de aterro no Rio de Janeiro. Alguns projetos foram abandonados com a estabilidade do preço do petróleo. O Projeto NovaGerar de Aproveitamento do Biogás no Aterro Sanitário de Adrianópolis no Estado do Rio de Janeiro é bastante importante principalmente por ter revitalizado um lixão, transformando-o num modelo de aterro sanitário no Brasil, utilizando-se dos mais modernos conceitos e tecnologias para acondicionamento de resíduos sólidos urbanos; além disso, o projeto usa o biogás gerado no aterro para a queima do chorume (evaporador de chorume). O Aterro de Adrianópolis recebe atualmente cerca de 2000 toneladas por dia de lixo e possui um sistema de captação do biogás para uso no queimador de evaporação do chorume.

Um projeto semelhante foi implantado na cidade de Tremembé, no Estado de São Paulo, onde a gerenciadora do aterro utiliza o gás desde 2001 para a evaporação do chorume (ESCOBAR, 2002). Esse projeto utilizou-se de financiamento externo por meio do mercado de carbono do MDL, previsto no protocolo de Quioto.

Um estudo que fez o levantamento de 110 municípios com mais de 300 mil habitantes cujos aterros oferecem condições para a produção de energia mostrou que o Brasil possui um potencial de 300 a 400 MW de geração de energia através do aproveitamento do biogás de aterro (RECICLÁVEIS, 2006).

A primeira unidade implantada no país é a localizada no Aterro Sanitário dos Bandeirantes em São Paulo que tem capacidade instalada de 20MW e que foi autorizada para produção de energia elétrica em 2003 pela ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), sendo esta unidade considerada a maior da América Latina. Esse projeto visa minimizar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) no Aterro Sanitário dos Bandeirantes da Cidade de São Paulo, por meio da coleta do biogás gerado e sua utilização para geração de eletricidade durante aproximadamente 15 anos.

Outros projetos estão sendo avaliados pela ANEEL para serem concessionados pelas prefeituras: No Aterro Sanitário Metropolitano de Salvador/BA, a empresa que tem a concessão prevê uma usina de geração termelétrica com capacidade instalada de 75 MW no período de 2015 a 2021 (PLOTAKHINA, 2001). Em Pernambuco, o uso da biomassa para produção de energia elétrica ainda está restrito ao bagaço da cana. Contudo, o estudo de mercado dos resíduos sólidos pôde constatar a existências de algumas cidades ou aterros com potencial de exploração energético. O desenvolvimento desta tecnologia em outros países e estados e as experiências adquiridas anteriormente terão papel importante para o surgimento crescente de usinas produtoras de energia elétrica no País (JUCÁ, 2002).

Hoje há 15 metodologias aprovadas (duas delas para biogás em aterros) e outras 60 em análise, incluindo biogás em ETE (estações de tratamento de esgoto), biofertilização e eficiência energética. Desse total, 22% ou 32 projetos são brasileiros. As 149 mil toneladas de lixo geradas ao dia no País poderiam render entre US\$ 125 e 336 milhões ao ano em créditos de carbono, pelo valor atual da tonelada (entre US\$ 5 e 8 euros). No entanto, há uma linha de corte para os projetos, sendo preferenciais os aterros que atendam a partir de 200 mil habitantes, como o dos Bandeirantes e o do São João, também em São Paulo (SP).

Além das perspectivas de maior desenvolvimento desta tecnologia em todo mundo, o setor elétrico brasileiro vem utilizando mecanismo de incentivos ao uso

da biomassa (inclusive do Biogás) para geração de energia elétrica. O Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) de 2001 determina que 3.300 MW de potência instalada sejam adicionados ao sistema elétrico brasileiro a partir de fontes de energia renováveis. Os produtores desta energia terão a garantia de venda por um prazo de até 15 anos e o estabelecimento de um valor de referência compatível com as características técnico-econômicas de cada projeto. Além de outros incentivos inclusos no PROINFA, destaca-se também a redução de encargos no uso do sistema de transmissão e distribuição de eletricidade em no mínimo 50%. Além disso, existe, no Brasil, o Fundo Protótipo de Carbono, que é uma parceria entre o Banco Mundial, onde serão financiados os Certificados de Emissões Reduzidas ou "créditos de carbono", no âmbito do Protocolo de Kyoto, e do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Estima-se que o mercado global de carbono atinja US\$ 10 bilhões por ano nos próximos anos e que o Brasil tenha potencial para responder por parte significativa desse mercado.

Este trabalho visa fazer um diagnóstico do monitoramento de poços captados no Aterro Sanitário dos Bandeirantes do Município de São Paulo, por meio diferentes situações que podem evidenciar as mudanças de dos parâmetros coletados. Essas diferentes situações são: (a) poços ligados à captação com exaustão forçada (chamado no presente trabalho de extração ativa do biogás no aterro), em diferentes profundidades no maciço do aterro; e comparar os parâmetros do monitoramento de (b) poços ligados à captação de extração ativa, com (c) poços com extração passiva (poços não ligados ao sistema). As características do projeto de aproveitamento do biogás (estudo de caso), assim como a metodologia do diagnóstico vão ser explicadas nos próximos itens.

CAPÍTULO 3

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso do presente trabalho se divide em duas vertentes. Uma é o Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo, que pela grande quantidade de resíduos sólidos urbanos depositados gera grandes quantidades de biogás. A outra é o projeto de aproveitamento do biogás deste aterro para a geração de energia no caso a Usina Termelétrica do Aterro dos Bandeirantes. Tanto o Aterro quanto a Usina possuem características ímpar dentro do setor no Brasil e na América Latina que vão ser descritas nos próximos itens.

3.1.1 O Aterro dos Bandeirantes

O Aterro Sanitário dos Bandeirantes fica localizado no município de São Paulo, margeando a rodovia dos Bandeirantes (km 26). O aterro entrou em funcionamento no ano de 1979 e desde então recebeu uma média de 8.000 toneladas de resíduos por dia contando hoje com aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos sendo este total quase $\frac{1}{4}$ do total de lixo depositado no Estado de São Paulo. A área para a deposição tem cerca de 100 hectares e a altura do maciço de lixo varia de 30 a 130 metros (Figura 16) (JUCÁ, 2002).



Figura 16 – Foto aérea do Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo (Foto: Heleno & Fonseca Construtécnica S. A).

O Aterro conta com todos os sistemas de controle ambiental para um aterro sanitário essenciais para um sistema de coleta de biogás eficiente: sistema de impermeabilização inferior, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem de gases e sistema de drenagem e remoção de percolados. O percolado (chorume) é levado para ser tratado na SABESP (Companhia de Abastecimento de Água e Coleta de Esgotos do Estado de São Paulo) e o lodo volta de novo para o aterro.

A área do aterro desde o início de sua operação foi dividida em cinco, a saber: AS-1, AS-2, AS-3, AS-4 e AS-5. As primeiras (AS-1 e 2) encontram-se esgotadas e são as áreas mais antigas do aterro. A AS-3 e 4 são mais recentes mas também estão esgotadas as suas áreas de recebimento de lixo. A subárea do aterro AS-5 está em operação e é onde está localizada a maior parte da rede de captação de gás (CARVALHO *et al.*, 2000).

3.1.2 A Usina Termelétrica

O Projeto de aproveitamento do biogás do Aterro do Bandeirantes do estudo de caso em questão é separado em duas unidades distintas, denominadas: (1) Usina de Gás⁵ e Usina de Geração; e (2) Sistema de Captação. O Sistema de Captação ou Coleta de Gás que é usado no estudo de caso do presente trabalho já foi apresentado no item 2.6 do capítulo anterior. Neste item serão apresentadas as características da unidade da Usina de Gás e Usina de Geração (Figura 17).

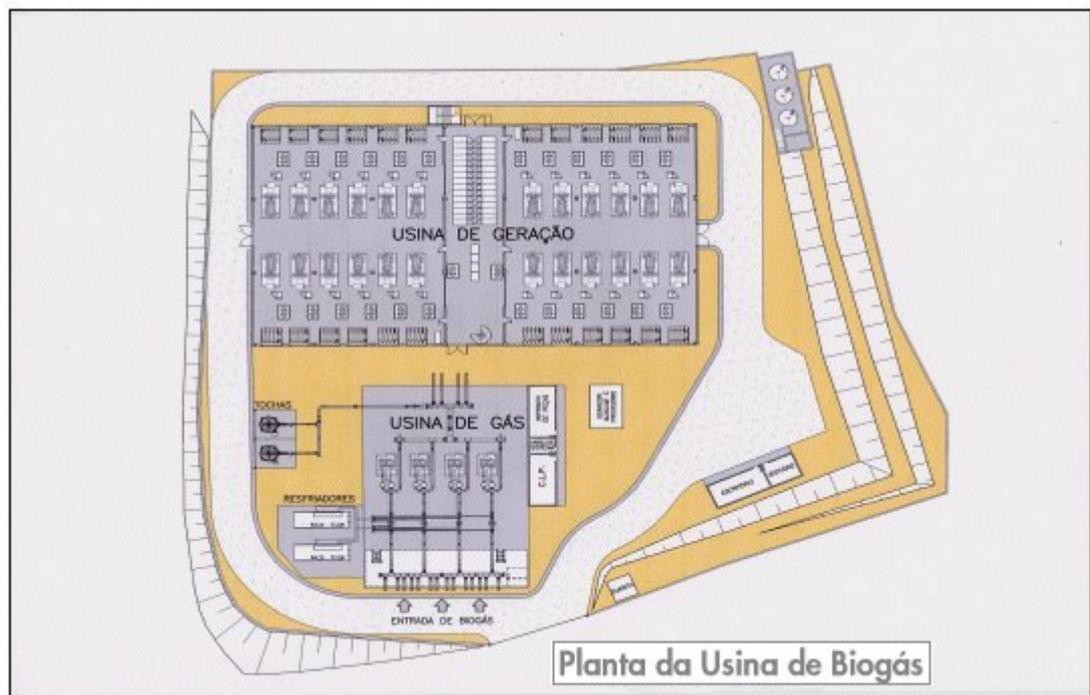


Figura 17 – Ilustração da Planta da Usina de Biogás (Fonte: Biogás Energia Ambiental S.A).

Um dos principais objetivos do monitoramento do gás de um aterro em um projeto de aproveitamento de biogás para a geração de energia é garantir que o gás que irá alimentar os motogeradores chegue à central da usina em uma quantidade e qualidade mínima aceitável para o correto funcionamento do sistema como um todo. Para que torne mais clara a importância do

⁵ **Usina de Gás:** correspondem as instalações a partir do coletor de entrada principal sob o prédio metálico, incluindo todos os equipamentos e controles até o limite de bateria de entrega à Usina de Geração.

monitoramento do gás captado, neste item serão descritas as principais características dos equipamentos, bem como o funcionamento do empreendimento do estudo de caso em questão.

A UTE (usina termelétrica) Bandeirantes foi implantada pelo consórcio Biogás Energia Ambiental, formado pela empresa Arcadis Logos Engenharia, da área de projetos energéticos do grupo Logos Engenharia, pela Heleno & Fonseca Construtécnica S. A., construtora e operadora do aterro Bandeirantes e pela holandesa *Van Der Wiel*, especializada em projetos de desgaseificação. Foram 17 milhões de dólares em investimento, 20 MW de potência elétrica instalada, 24 grupos de geradores operando em plena carga e produzindo 170 mil MW/hora/ano, energia suficiente para abastecer uma cidade de 300 mil habitantes durante 15 anos; além disso, o projeto evitará emissões de aproximadamente 16,1 milhões de toneladas de carbono (IPCC,2005).

A termelétrica tem capacidade instalada para captar 18 mil metros cúbicos por hora de biogás a no mínimo 50% de metano. Deles, 12 mil metros cúbicos por hora são consumidos para gerar energia e atender ao contrato de fornecimento fechado com o Banco Unibanco. Quando atingir sua capacidade plena de captura de gás, a usina terá o equivalente a um milhão de créditos de carbono ao ano (Figura 18).



Figura 18 – Vista aérea do Aterro dos Bandeirantes de São Paulo (SP) com detalhe da Usina Termelétrica (UTE) de Biogás.

O biogás extraído do aterro dos Bandeirantes passa por uma planta de gás, onde é separado do chorume e succionado por quatro sopradores ou compressores rotativos com capacidade de 4000 m³/h de biogás cada um (*blowers*). Antes de passar pelos sopradores e pelos motores, o gás sofre uma pré secagem que tem dois objetivos: (1) evitar a formação de condensado no gás pelos sopradores e pelos motores, pois o condensado prejudica o funcionamento e a durabilidade das partes rotativas; e (2) fazer uma pré limpeza no gás, pois quando separado, este líquido condensado também captura particulados que poderiam ser lançados na atmosfera.

A secagem do gás é obtida através do resfriamento de gás para uma temperatura abaixo do ponto de orvalho. Assim, a umidade do gás forma gotículas que são coletadas em um filtro coletor (*demister*) localizado no interior do tanque de coleta. Este condensado é levado por meio de uma tubulação ao poço de coleta situado no piso inferior da Usina de Gás.

O gás é resfriado a temperatura próxima de 0°C através dos trocadores de calor (resfriadores ou *chiller*), onde há a circulação de uma solução etileno-glicol líquido que realiza sua secagem e resfriamento até o ponto de condensação, quando o vapor se liquefaz (Figura 19).



Figura 19 – Esquema de chegada de gás na Usina até a moto-geração da Usina Termelétrica dos Bandeirantes – SP (Fonte: Biogás Energia Ambiental S. A).

Depois de resfriado, o biogás é comprimido pelos sopradores, resultando em uma pressão de saída de aproximadamente 200 mbar. Este gás agora comprimido é encaminhado por tubulações para alimentar os motogeradores (Figura 19).

A produção excedente à demanda é queimada em dois queimadores idênticos (*flares*), com capacidade para 2.500 metros cúbicos/hora cada um, a temperatura superior a 1.200 graus centígrados. Outra finalidade dos *flares* é a partida da unidade, tendo em vista que os motores só podem receber o biogás após o mesmo sofrer o pré-tratamento descrito acima (secagem e pressurização) (Figura 19).

Na planta de energia, projetada e operada pela divisão de energia da Sotreq (Caterpillar), o gás é convertido em eletricidade por 12 grupos geradores G3516LE (*low emission*), da Caterpillar, com 925 kW de potência elétrica cada. O consumidor final da energia gerada (170 mil MW/hora/ano) é o Unibanco, que com ela abastece cerca de mil agências do grupo e suas coligadas Fininvest e

Blockbuster. O conceito utilizado é o da geração distribuída, ou seja: a energia gerada na planta da termelétrica é transferida para a rede da Eletropaulo e abastece a região de Perus, na capital paulista, com cerca de 120 mil habitantes. Em contrapartida, a concessionária credita para o Unibanco o mesmo volume de fornecimento.

CAPÍTULO 4

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia das medições dos parâmetros coletados nos poços de biogás do estudo de caso usada no presente trabalho foi pré-determinada pelo PDD (*Project Design Document Form (CDM PDD)*) do projeto aprovada pela ONU com base em projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Dentro do PDD existe a chamada “Linha de base da metodologia para atividades de biogás de aterro” (ACM0001). Esta linha de base determina os quais parâmetros o projeto tem que medir para que possa receber os créditos de carbono (Figura 20).

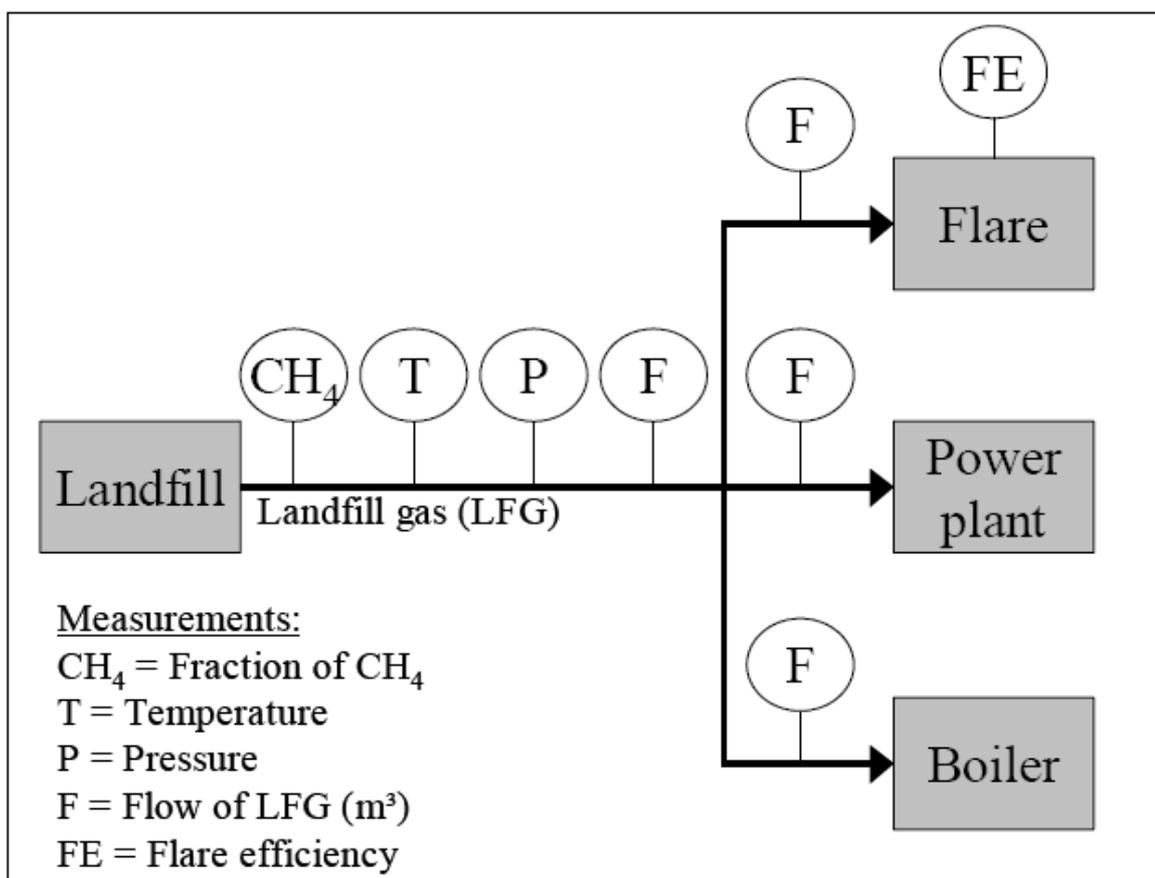


Figura 20 – Plano de monitoramento determinado pela linha de base da metodologia para atividades de biogás de aterro (ACM0001).

Este item apresentará o tipo de pesquisa implantado neste trabalho assim como a caracterização da coleta de dados, a frequência da coleta de dados de acordo com o tipo de análise, a metodologia de amostragem e, por fim, a caracterização dos tipos de análise que foram feitos para se atingir os objetivos do trabalho.

4.1 Teste de reprodutibilidade das medidas

No ano de 1997 a USEPA (*United States Environment Protection Agency*) fez teste usando um *Mini-Flare* (queimador) usando em três poços no Aterro dos Bandeirantes por meio de extração ativa. Estes testes tiveram como objetivo determinar o comportamento dos poços frente a parâmetros de vazão e quantidade de metano no gás coletado (Figura 21).



Figura 21 – Mini-Flare (queimador) usado nos testes feitos pela USEPA em 1997.
Fonte: *Van der Wiel Stortgas*.

Os poços foram escolhidos de modo que ficassem em lugares com características distintas de profundidade no espaço do aterro, para uma posterior comparação dos parâmetros monitorados (Figura 22).

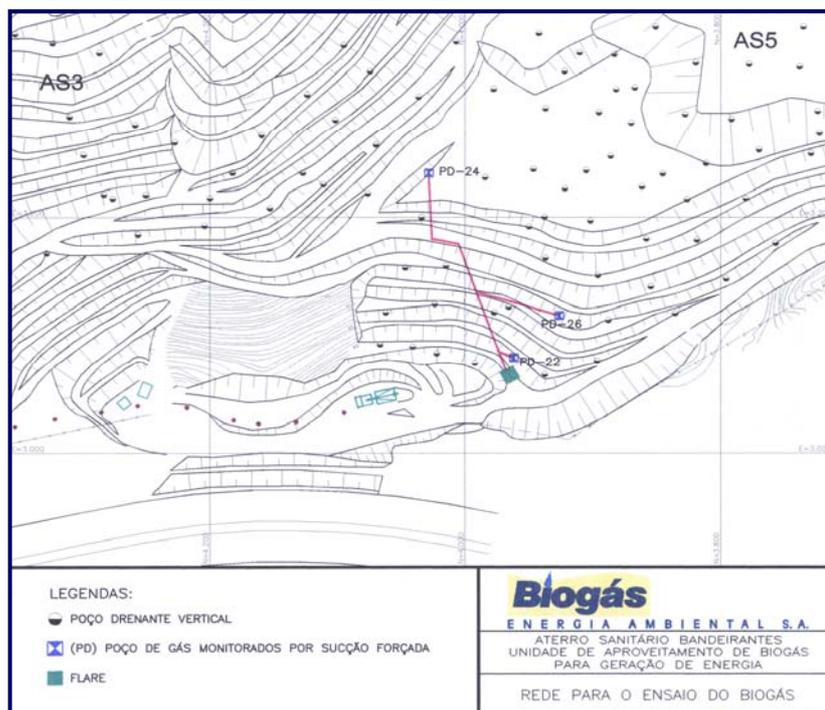


Figura 22 – Local dos poços usados no experimento feito pela USEPA em 1997 no Aterro dos Bandeirantes do Município de São Paulo.

Os resultados indicaram nos três poços altas concentrações de metano e uma variação nos valores de vazão média dos poços (Tabela 5 e Figura 23).

Tabela 5 – Dados de vazão média e porcentagem de metano dos três poços monitorados durante os experimentos feitos pela USEPA/*Van Der Wiel*. Fonte: *Van de Wiel Stortgas*.

Poço Drenante	Vazão média de biogás por sucção forçada (Nm ³ /h)	CH ₄ (%)	Vazão média de CH ₄ (Nm ³ /h)	Energia Gerada (kwh)
PD 24	154	60	92	294,0
PD 22	133	61	81	259,0
PD 26	41	58	24	76,8

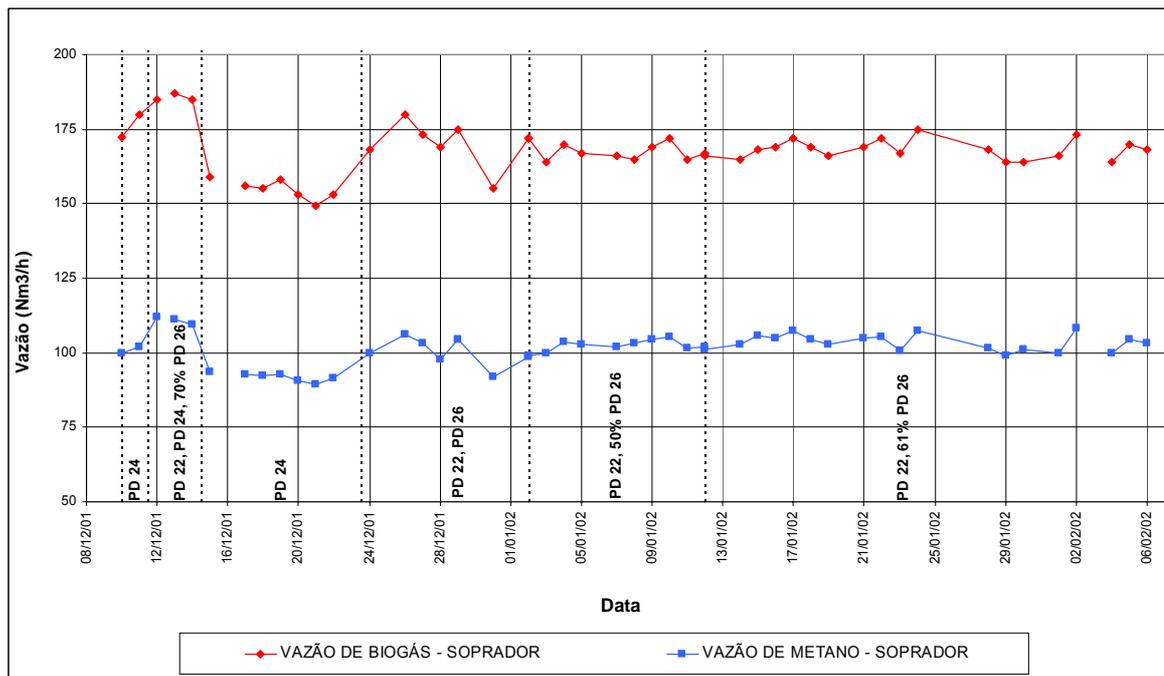


Figura 23 – Gráfico de acompanhamento de vazão total (N.m³/h) e vazão de metano (N.m³/h) dos poços monitorados pela USEPA em 1997 no Aterro dos Bandeirantes. Fonte: *Van der Wiel Stortgas*.

Uma análise geral dos resultados deste experimento indicou que fatores ambientais podem afetar na produção e qualidade do biogás coletado que precisam ser mais bem avaliados.

4.2 Frequência de amostragem

Os dados de produção (vazão), qualidade do gás (metano e oxigênio) e pressão foram obtidos com a seguinte frequência:

(a) Para o estudo do diagnóstico em relação ao perfil do maciço do aterro (análise de cortes): desde fevereiro de 2005 a dezembro de 2005 com uma frequência de duas a três vezes ao mês para os 26 poços acompanhados.

(b) Para os poços com extração passiva (sem sucção): diariamente no período de 30 dias que compreende o período entre setembro de 2005 a outubro de 2005.

(c) Para os poços com extração ativa (com sucção): diariamente no período de 48 dias que compreende entre 16 de novembro de 2005 e 30 de janeiro de 2006.

4.3 Metodologia de amostragem

Cada tubulação de entrada, em um coletor, é provida de válvula de regulagem e de abertura (com válvula esfera de passagem plena) para inserção de sondas medidoras de teores de Oxigênio e de Metano, assim como de pressão e de velocidade do gás.

O objetivo desses recursos é permitir a regulagem individual de cada poço, pois cada poço tem uma capacidade própria de geração de biogás, assim como tem seu limite de impermeabilização contra infiltração de ar atmosférico. A infiltração de ar atmosférico em um poço é proporcional ao vácuo (pressão negativa) que induz no mesmo para captação do gás. Quanto mais baixa a pressão, mais aumenta a tendência de se introduzir ar atmosférico na corrente de gás, o que pode fazer aumentar perigosamente o teor de oxigênio na mistura. Portanto quando se “puxa” muito gás (maior vácuo, ou seja, válvula mais aberta) há tendência de se ter mais ar atmosférico, e, portanto, menos teor relativo de Metano (ARCADIS, 2004) (Figura 24).



Figura 24 – Válvula tipo borboleta usada para a regulagem em cada poço ligado ao coletor. A válvula possui 12 posições de regulagem (na foto a válvula está na aberta na posição seis (6)).

4.4 Coleta do material

Considerando o pioneirismo que revela o aproveitamento do biogás gerado no Aterro dos Bandeirantes de São Paulo (Figura 25), a envergadura do aterro e o fato das significativas diferenças em relação a informações de empreendimentos de outros países (quer pela diferença dos tipos de resíduos, pelo clima, pela geotecnia e diferentes soluções tecnológicas de drenagem do gás), a metodologia de monitoramento do gás do aterro que se apresenta procura indicar critérios específicos dedicados para o caso em questão.



Figura 25 – Foto da área de estudo e dos dados coletados no presente trabalho (latitude e longitude mostradas na figura).

Deste modo, a metodologia do monitoramento do sistema de captação de biogás de aterro apresentou-se com dois intuitos fundamentais:

- 1) Fornecer subsídios que garantissem o controle operacional e quali-quantitativo de operação da Usina Termelétrica.

- 2) Auferir, a cada etapa de progressão da instalação da captação do gás, informação que, agregadas ao histórico das etapas anteriores, servissem de retro análise e confirmação ou ajustes das hipóteses e critérios do projeto de captação. Isto permitirá inferir comentários pró justificados de comportamento e ação para todas as etapas subseqüentes, visto que a expedição do aproveitamento do gás é de 15 anos, prorrogável por mais 15 anos.

Portanto, o presente trabalho se apoiou na busca de informações com relação as principais características de operação do monitoramento da planta de captação do gás, tendo em vista que um projeto deste porte é pioneiro no Brasil e no mundo. Estes estudos vão levantar informações pela primeira vez que poderão ser usados em projetos futuros.

Os dados do presente trabalho foram retirados de acordo com o plano de Monitoramento dos poços de captação de biogás da Usina Termelétrica Bandeirantes de São Paulo (SP), que hoje conta com cerca de 240 poços instaladas sendo que destes cerca de 190 poços estão em operação. Os motivos de alguns poços instalados não estarem em operação são: manutenção, solicitação de desativação da operadora do aterro e baixa qualidade do gás.

4.5 Análise dos Dados

Para a análise deste trabalho, o total dos 170 poços em operação monitorados foi dividido em três diferentes tipos de análises. O intuito desta divisão de análise de dados dos poços foi ensaiar diferentes situações que podem influenciar nos parâmetros principais de monitoramento dos poços (pressão, produção (vazão) e qualidade de gás). Estas diferentes etapas de análise serão detalhadas a seguir.

4.5.1 Análise de Cortes

Foram selecionados 26 poços que representam ao todo 9 cortes no maciço do aterro. Esses poços representam um corte vertical em um determinado local do aterro que proporciona uma comparação dos parâmetros coletados com a profundidade e, conseqüentemente, com a idade do poço. Para que estes “cortes”

ou “perfis do maciço do aterro” pudessem ser mais bem representados foi selecionado um poço com uma profundidade maior (maior ou igual que 30,00 metros), outro com uma profundidade intermediária (entre 30 e 20 metros) e outro com uma profundidade menor (20 a 0,50 metros).

Esses nove cortes ao longo do aterro tiveram como objetivo estudar o comportamento dos parâmetros de pressão, produção e qualidade do gás em relação à profundidade, sendo que esta variável em um aterro sanitário está relacionada com a idade tendo em vista que as células de lixo foram dispostas em cima da outra.

4.5.2 Análise de poços com extração passiva

Se não houvesse o sistema de coleta de biogás no local de estudo, o biogás drenado nos poços do aterro sairia para atmosfera sem ser forçado pela pressão negativa imposto pelo sistema. Esta sucção pode gerar um comportamento diferenciado nestes poços em relação a poços ligados ao sistema de captação relatado no presente trabalho.

Foram escolhidos três poços para se estudar e comparar o comportamento de poços sem a extração forçada, e os mesmos três poços (PB 123, PB 5A, e PB 134B) com a extração forçada, também chamada de extração por exaustão. Esses poços foram monitorados diariamente sendo coletados os parâmetros de monitoramento (pressão, produção e qualidade do gás) para uma posterior comparação e discussão.

Para os poços com extração passiva, foi colocada uma estrutura chamada de “chaminé” onde os gases dos poços poderiam sair livremente para a atmosfera e também monitorados (Figura 26).



Figura 26 – Foto da chaminé instalada em cima do poço de biogás para o estudo de poços com exaustão passiva (Fonte: Biogás Energia Ambiental S.A).

4.5.3 Análise de poços com extração ativa

Como dito anteriormente, foram selecionados os mesmos três poços da análise acima, mas esses poços foram conectados normalmente ao sistema, para a comparação com poços com extração passiva.

4.6 Aparelhos Utilizados

Para a coleta dos dados dos parâmetros acompanhados em todas as análises descritas nos itens anteriores, foram usados aparelhos portáteis específicos. As características de cada aparelho, as suas respectivas exatidões e intervalo de medição (*range*) estão descritas a seguir.

4.6.1 Analisador de gás

Para medir a qualidade do gás, foi usado o Analisador de Gás – 94 (Gás Analisator (GA-94)) da *Geotechnical Instruments®* (Figura 27 e Figura 28). Os

gases de interesse na análise da qualidade do gás são: (a) o metano (CH_4), por ser justamente mais poluente e comburente; (b) o dióxido de carbono (CO_2), que dá uma indicação de processos biológicos da decomposição; (c) e o oxigênio (O_2), que indica se o poço está sendo succionado de forma demasiado pelo sistema de captação da usina.

Este aparelho é largamente usado no mundo para a medição da qualidade do biogás. A medição efetuada em cada poço foi seguida de acordo com o manual do aparelho e consiste no seguinte procedimento: conectar o aparelho por 60 segundos na válvula de medição no CLT no final da tubulação de todos os PB. O aparelho possui uma bomba de sucção que faz com que o gás entre no mesmo para a análise. A medição do gás dentro do aparelho é feita através de um sensor infravermelho, que se baseia no princípio de que o raio infravermelho sofra uma refração diferenciada para cada tipo de gás, refletindo assim em um espelho interno, onde é medida a qualidade do gás em porcentagem (Figura 27 e Figura 28).



Figura 27 – Analisador de biogás da *Geotechnical Instruments*® usado no presente trabalho no monitoramento da qualidade do gás (metano e oxigênio) em cada Poço de Biogás (PB).

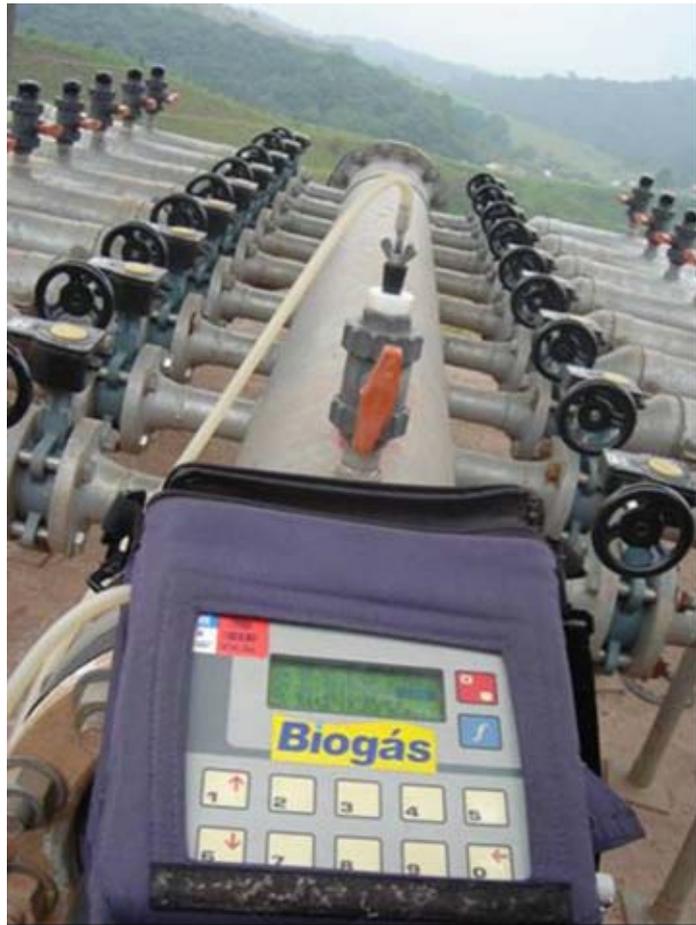


Figura 28 – Analisador de biogás da *Geotechnical Instruments*® sendo usado no coletor de campo no monitoramento da qualidade do gás (metano e oxigênio) em cada Poço de Biogás (PB).

A exatidão do aparelho vem especificada no manual do mesmo e está representado na tabela abaixo (Tabela 6).

Tabela 6 – Tabela de exatidão na medição dos gases constituintes de biogás do Analisador de Gás GA94 da *Geotechnical Instruments*®.

Gás	0 - 5 % Vol.	5 - 15 % Vol.	15 % + Vol.
Metano	± 0,5	± 1,0	± 3,0
Dióxido de Carbono	± 0,5	± 1,0	± 3,0
Oxigênio	± 1,0	± 1,0	± 1,0

O Analisador de gás foi calibrado diariamente antes de ser usado para a coleta de dados em campo. Esta calibração é feita com um cilindro comprado por

uma empresa externa com porcentagem de gás (metano 50% e dióxido de carbono 39,9%) pré-definida. O oxigênio foi calibrado com o próprio ar atmosférico a 19,9% (Figura 29). Em intervalos de seis meses, o aparelho é mandado para o fornecedor, para uma calibragem dos sensores internos.



Figura 29 - Analisador de biogás da *Geotechnical Instruments*® sendo calibrado com o cilindro padrão antes de ser usado para medir a qualidade do gás em campo.

4.6.2 Anemômetro

Para medir a vazão do gás captado em cada poço foram obtidas medidas de velocidade (em metros por segundo), buscando assim determinar a vazão a partir de uma seção conhecida.

O aparelho usado foi um anemômetro da empresa *Schiltknecht*®) modelo *Mini Air Micro* (Figura 30 e Figura 31).



Figura 30 – Detalhe da hélice do Anemômetro da Schiltknecht® usado no presente trabalho no monitoramento da velocidade do gás em cada Poço de Biogás (PB).



Figura 31 - Anemômetro da Schiltknecht ® usado na medição da vazão da extração de biogás nos poços (PB) monitorados.

A precisão do aparelho vem especificada no manual do mesmo e está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela de exatidão e escala de medição (*range*) do anemômetro da Schiltknecht ® usado na medição da vazão da extração de biogás nos poços (PB) monitorados.

Exatidão de medição da velocidade em laboratório (confiança 95%)		
Escala de medição	Ambiente de medição	Erro
0,1m/s - 65 m/s	Temperatura 20 °C- 30 °C	(+/- 0.5 %)

Para a normalização da medição em normal metro cúbico por hora (N.m³/s) nas Condições Normais de Temperatura de Pressão (CNTP) recomendadas pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (MILLS *et al.* 1993), foi usado um fator de correção de acordo com a pressão e temperatura do gás coletado no local através da seguinte equação 3.1:

$$\dot{Q} = (V \times A) \times \frac{273,15}{273,15 + T} \times P \quad (3.1)$$

Onde:

Q: vazão de biogás (N.m³/s)

V: velocidade de saída do biogás (m/s)

A: área da seção de passagem do fluido (m²)

T: temperatura de saída de biogás (°C)

P: pressão atmosférica (bar)

Os dados de temperatura foram coletados no coletor de entrada da Planta de Gás, onde é recebido todo o biogás gerado no aterro. O valor de pressão atmosférica do local foi coletado em um barômetro instalado também na Planta de Gás.

A medição feita em cada poço pelo anemômetro consiste em conectar o aparelho na válvula de medição no Coletor (CLT) no final da tubulação do PB. Na

ponta da haste do aparelho, há uma hélice que mede a velocidade e um sensor que manda as informações para o aparelho. Foi usada uma função do próprio anemômetro em que faz uma média durante o intervalo de 6 segundos das velocidades neste intervalo de tempo. (Figura 30 e Figura 31).

4.6.3 Manômetro

Para medir a pressão do gás succionado pela Usina em cada poço e coletor na unidade “mbar” foi usado o aparelho da empresa *Digitron®* (Figura 32).



Figura 32 – Manômetro da *Digitron®* usado no presente trabalho no monitoramento da pressão dos poços de extração de biogás (PB).

A exatidão do aparelho veio especificada em seu manual e está apresentado abaixo na Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela de exatidão do manômetro da *Digitron*® usado na medição pressão dos poços de extração de biogás (PB).

Exatidão de medição da pressão		
Escala de medição	Ambiente de medição	Erro
0 – 199,9 mbar	Temperatura 0 °C- 50 °C	(+/- 0.1 %)

4.7 Processamento dos dados

Os dados foram arquivados em planilha eletrônica do *software Excel*. Em todas as análises foram feitos gráficos para uma melhor visualização dos resultados. Os parâmetros analisados para todas as análises foram os mesmos, a saber: pressão, vazão e qualidade do gás (teor de metano e oxigênio). Não foram feitas análises estatísticas aprofundadas pelo fato de o objetivo do trabalho consistir em apresentar um aspecto geral sobre o assunto em questão.

Nos gráficos da análise de corte, a legenda acompanha a estratificação por profundidade, ou seja, os poços de cima são os mais profundos os de baixo são os mais rasos e os do meio são os de profundidade intermediária.

Foram feitos também tabelas com o valor médio de cada parâmetro e seu respectivo desvio padrão. Os dados brutos foram colocados estão apresentados em anexo. Na análise de poços com extração passiva e ativa foram feitas tabelas comparativas dos resultados das duas análises.

Aqui encerra o capítulo dos materiais e métodos usados no presente trabalho. A seguir, serão apresentados os resultados das três diferentes análises apresentadas neste capítulo.

CAPITULO 5

5 RESULTADOS

Os dados foram divididos em três diferentes situações para análise. No entanto, a metodologia de coleta dos parâmetros de produção, pressão e qualidade do biogás extraído dos poços se manteve para todas as três análises seguindo a metodologia proposta pela UNFCC de acordo com o PDD do projeto do estudo de caso comentada no Item 4 - Matérias e Métodos - do presente estudo.

5.1 Análise Geral dos Resultados

Dados de profundidade e idade dos poços foram retirados através do histórico do acompanhamento topográfico de cotas do terreno do aterro de acordo com a deposição das células de lixo e estão apresentadas na Tabela 9 (Fonte: Heleno & Fonseca Construtécnica). Estes dados foram coletados para efeito de discussão do diagnóstico proposto no estudo em questão.

Tabela 9 – Dados gerais de profundidade (m) e idade (anos) estimados de todos os poços de extração de biogás (PB) estudados na análise de corte.

Corte	Poço (PB)	Profundidade (m)	Idade (anos)
1	172	32,00	8,00
	172A	23,97	5,00
	172C	6,70	4,50
2	97	30,00	8,00
	170	26,53	8,00
	170A	10,19	5,00
3	99A	32,53	8,00
	160	26,75	8,00
	161	21,81	8,00
	161A	1,00	5,00
4	76	31,00	8,00
	74	22,00	8,00
	74E	1,61	5,00
5	176	24,69	5,00
	124	21,22	8,50
6	134	31,02	8,50
	135	23,31	8,50
	136B	9,54	4,00

7	151	51,04	10,00
	136C	27,50	4,00
	136D	18,90	4,00
8	PA18	46,25	10,50
	PA18A	45,57	10,50
9	148	25,00	9,50
	138	11,87	7,00
	137-B	0,79	3,50

Na análise de corte, os poços “profundos” foram considerados os com profundidade maior que 30,00 metros, os “intermediários” de profundidade entre 30,00 e 20,00 metros e os “rasos” com profundidade entre 20,00 e 0,50 metros. No geral a profundidade dos poços (PB) variou de 51,04 a 0,79 metros e a idade variou de 4 a 10 anos. Os poços mais profundos representaram os PB mais antigos, pois as células de resíduos do aterro sanitário crescem conforme se dispõe o lixo no maciço no terreno (Tabela 9).

5.2 Análise dos cortes

Os resultados das análises de cortes foram apresentados da seguinte forma: uma tabela apresentando os valores médios obtidos e os respectivos gráficos gerado no acompanhamento dos parâmetros desta análise. Para o melhor entendimento, a análise foi dividida de acordo com os parâmetros coletados (produção, qualidade do gás e pressão exercida pelo sistema de coleta).

5.2.1 Produção

A análise geral mostrou que os poços usados para este estudo apresentaram uma vazão média de 81,99 N.m³/h (DP +/- 88,49). Quando verificada a vazão dos poços por estratificação de profundidade, encontram-se os seguintes resultados (Tabela 10):

- Os poços mais profundos tiveram uma vazão média de 77,77 N.m³/h (DP +/- 65,72).
- Os poços intermediários tiveram uma vazão média de 103,38 N.m³/h (DP +/- 94,62) e

- Os poços rasos tiveram uma vazão média de 50,30 N.m³/h (DP +/- 28,23).

Tabela 10 – Dados de vazão média (N.m³/h) por estratificação de profundidade de biogás extraído dos poços na análise de cortes.

	Vazão média (N.m ³ /h)	Desvio Padrão
Profundidade alta	77,77	65,72
Profundidade intermediária	103,38	94,62
Profundidade rasa	50,30	28,23
Valor máximo	675,5	
Valor mínimo	0,00	

O resultado mostrou que os poços com profundidade intermediária (30,00 a 20,00 metros) apresentaram as maiores vazões de biogás registradas. O esperado em um caso destes é que poços com profundidades maiores registrassem as maiores médias de vazões horárias. Realizando estudos em escala real Lima (1988), pode verificar a ocorrência do aumento da velocidade no processo de digestão e um acentuado aumento na porcentagem de gás metano no biogás devido ao aumento da altura da célula de lixo. Células com altura de 5,00 metros, sobrepostas conseguem produzir gás mais rapidamente do que células isoladas (Tabela 10 e Figura 33).

Porém, os resultados desta análise indicam que a produção de gás de um poço do aterro sanitário em questão não depende somente de fatores favoráveis à degradação anaeróbica e sim das condições do sistema de drenagem do aterro além de fatores ambientais externos.

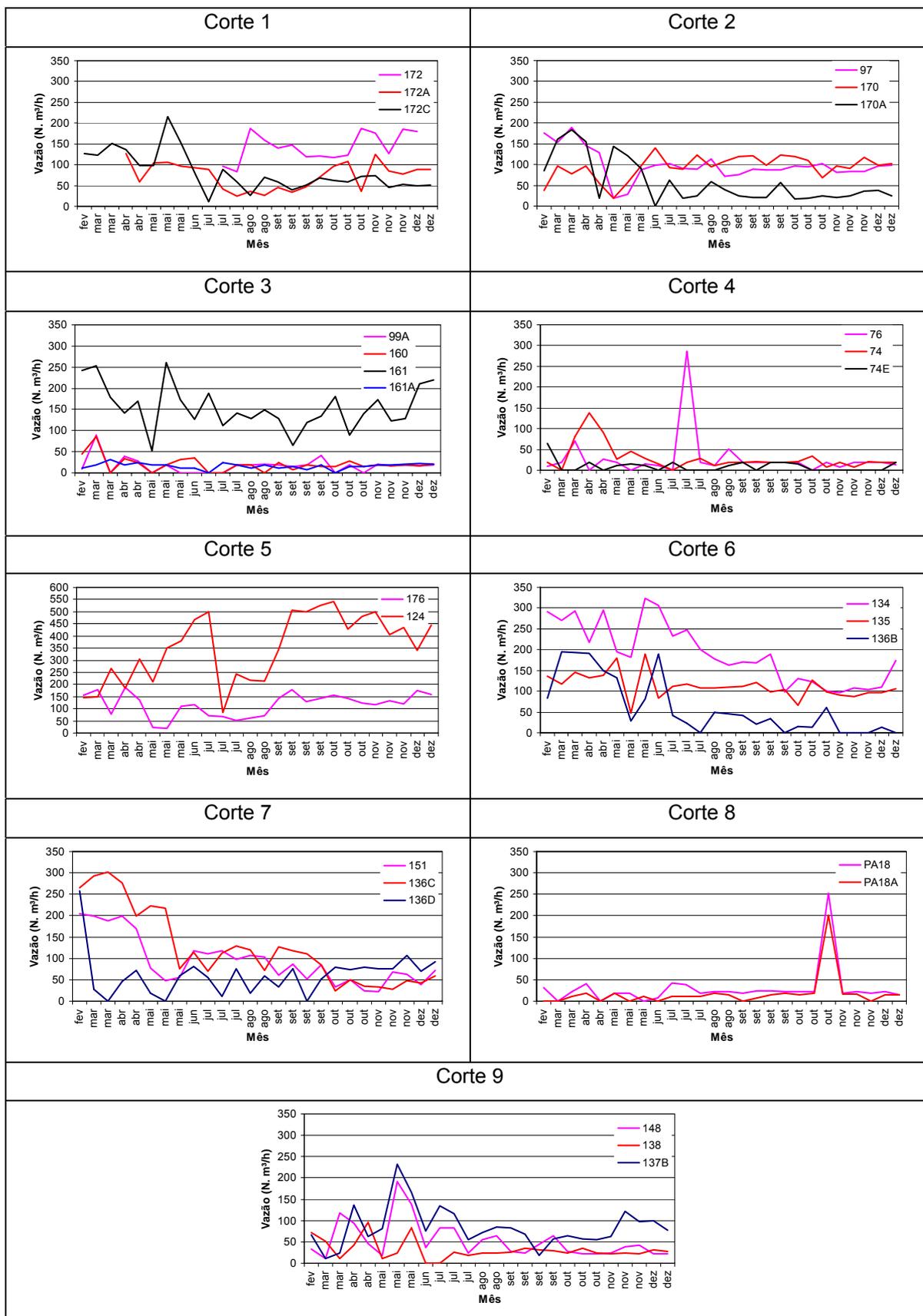


Figura 33 – Gráficos de acompanhamento das vazões (N.m³/h) dos poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005. A legenda acompanha a estratificação por profundidade.

As grandes variações observadas nos gráficos da Figura 33 indicam a existência de rotas preferenciais de drenagem do gás devido à presença de drenos horizontais interligados nos poços de escoamento de chorume que podem ocasionar o entupimento dos mesmos. Fenômeno semelhante foi verificado por Ensinas (2003) que acompanhou a emissão de biogás de poços no aterro do Delta Campinas – SP, aterro que possui características físicas de engenharia bastante semelhantes ao Aterro dos Bandeirantes.

É importante salientar que a vazão dos poços ligados ao sistema de captação é regulada pela qualidade do gás no monitoramento. O procedimento de monitoramento dos poços deste projeto de aproveitamento do gás de aterro previa que poços com porcentagem menor que 50% de metano fossem fechados progressivamente até que o volume de biogás voltasse de novo ao patamar de 50 % ou mais. Poços que, por algum motivo não voltasse a patamares aceitáveis de qualidade, eram fechados pela válvula de controle e verificados na ocasião de monitoramento seguinte.

5.2.2 Qualidade do Gás

Para um melhor entendimento dos resultados da qualidade do gás, a análise foi dividida em análise do metano e análise do oxigênio.

5.2.2.1 Metano

Tabela 11 – Dados de porcentagem de metano médio de biogás extraído dos poços na análise de cortes, por estratificação de profundidade.

	Metano médio (%)	Desvio Padrão
Profundidade alta	45,47	5,92
Profundidade intermediária	51,74	3,87
Profundidade rasa	46,74	6,76
Valor máximo	66,20	
Valor mínimo	0,00	

A análise geral mostrou que os poços apresentaram uma porcentagem de metano média de 47,68 % (DP +/- 2,45). Quando verificada a porcentagem de metano no biogás extraído dos poços por estratificação de profundidade, encontra-se a seguinte relação: os poços mais profundos tiveram uma

porcentagem de metano média de 45,47 % (DP +/- 5,93), os poços intermediários tiveram uma porcentagem de metano média de 51,74 % (DP +/- 3,87) e os poços rasos tiveram uma porcentagem de metano média de 46,74 % (DP +/- 6,76) (Tabela 11).

Foram registrados poços com até 66% de metano (valor máximo). O valor mínimo registrado de 0% se deve por algum rompimento na tubulação que é registrado para que sejam tomadas as devidas providências. A grande variação de qualidade o metano foi observada principalmente em poços com qualidade de metano mais baixa (entre 30 a 40 % de metano). Igualmente o parâmetro de vazão, o metano no monitoramento dos poços é regulado pela qualidade, ou seja, poços medido com qualidade de metano baixa (menor que 50%) eram fechados e medidos na próxima ocasião.

Foi observado em poços do Corte 2, 4, 6 e 9 uma tendência de queda do teor de metano com o passar do tempo. Este fenômeno é comum, pois se sabe que em condições normais a taxa de decomposição atinge um pico entre o primeiro e segundo ano e diminui continuamente por mais 25 anos (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VINIL, 1993) (Figura 34). Esta análise compreendeu um período de 11 meses, portanto pode ter abrangido as fases finais de decomposição a qual resulta a um menor teor de metano medido no biogás.

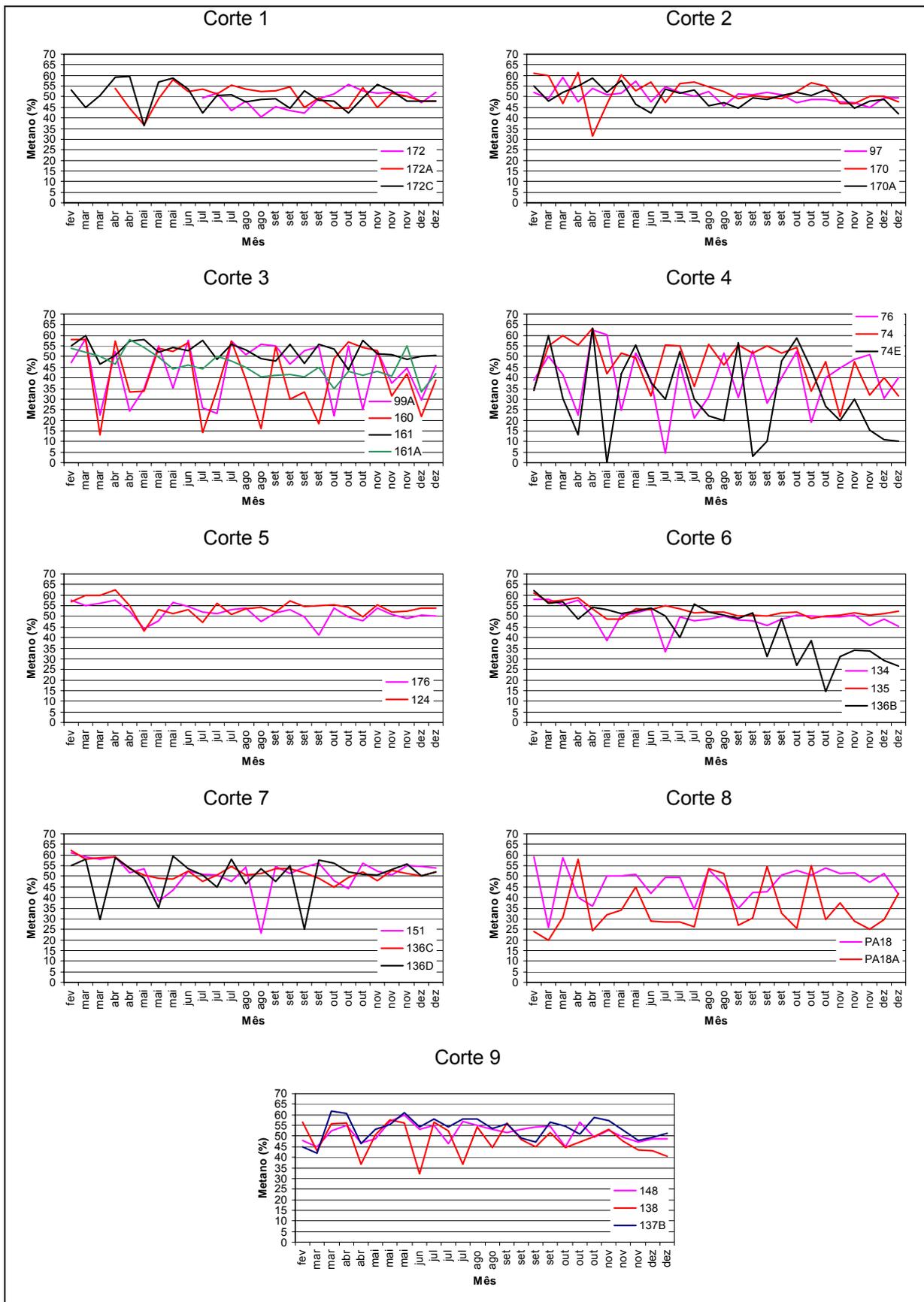


Figura 34 – Gráficos de acompanhamento do teor de metano (%) dos poços estudados na análise de corte no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.

É importante salientar aqui que poços mais velhos não necessariamente estão recebendo gás de camadas de lixo depositadas há mais tempo. O que acontece é que há uma mistura de camadas mais antigas e camadas mais recentes de lixo que foram sobrepostas no aterro.

Deste modo, os poços mais profundos receberam camadas de lixo mais recentes, o que pode prejudicar a qualidade do gás por estarem na fase de decomposição ácida. A fase ácida implica em porcentagens de dióxido de carbono presente na mistura do biogás maiores que a porcentagens de metano. O biogás proveniente da fase ácida vem de resíduos depositados de até 2 anos (VEGA Salvador, 2002).

Pelo fato de os poços estarem ligados a drenos horizontais de drenagem do chorume, alguns poços podem ter sido afetados por bolsões de chorume que ficam instalados no maciço do aterro. As primeiras fases da decomposição geram sub-produtos ácidos e as bactérias metanogênicas vivem somente em locais com pH neutro. Quando o percolado (chorume) submerge em algum poço ocasiona a redução da qualidade do gás por exterminar a população de bactérias metanogênicas (POHLAND, *et. Al.*, 1985). A presença de chorume em poços que reduziram drasticamente a produção e a qualidade do biogás foi verificada em diversos pontos na área de estudo do presente trabalho.

5.2.2.2 Oxigênio

Tabela 12 – Dados de porcentagem de oxigênio médio de biogás extraído dos poços na análise de cortes, por estratificação de profundidade.

	Oxigênio médio (%)	Desvio Padrão
Profundidade alta	1,19	1,00
Profundidade intermediária	0,73	0,68
Profundidade rasa	1,68	1,58
Valor máximo	16,20	
Valor mínimo	0,00	

A análise geral mostrou que os poços apresentaram uma porcentagem de oxigênio média de 1,26 % (DP +/- 0,41). Quando verificada a vazão dos poços por estratificação de profundidade, encontra-se a seguinte relação: os poços mais profundos tiveram porcentagem de oxigênio média de 1,19 % (DP +/- 0,99), os poços intermediários tiveram porcentagem de oxigênio média de 0,73 % (DP +/-

0,68) e os poços rasos tiveram porcentagem de oxigênio média de 1,68 % (DP +/- 1,58) (Tabela 12).

Amostras com a presença de oxigênio indicam a presença de ar atmosférico no material analisado (USDOE, 1983). No caso de poços com extração ativa, o oxigênio existente pode vir de três formas: (a) da atmosfera através da sucção por trincas e fissuras existentes em volta do poço; (b) por rompimento da tubulação ou flanges mal apertados; e (c) poços localizados ao lado de drenagens de águas pluviais.

O valor máximo encontrado de oxigênio observado na Tabela 12 é de 16,20%, mas as médias de oxigênio nos três estratos de profundidade não passaram de 1,68 %. Este valor mais alto foi devido a um rompimento na tubulação que foi registrado, e logo depois consertado soldando a tubulação de PEAD.

Levando em conta que o valor de oxigênio atmosférico é entorno de 21%, pode-se concluir que a entrada de oxigênio no sistema foi bem controlada pela operação de monitoramento e manutenção da rede de coleta nesses poços. Geralmente poços com baixas vazões sofrem mais com a entrada de oxigênio, pois o entorno destes poços não está oferecendo pressão suficiente para vencer a pressão atmosférica, favorecendo assim a entrada de oxigênio no sistema (Figura 35).

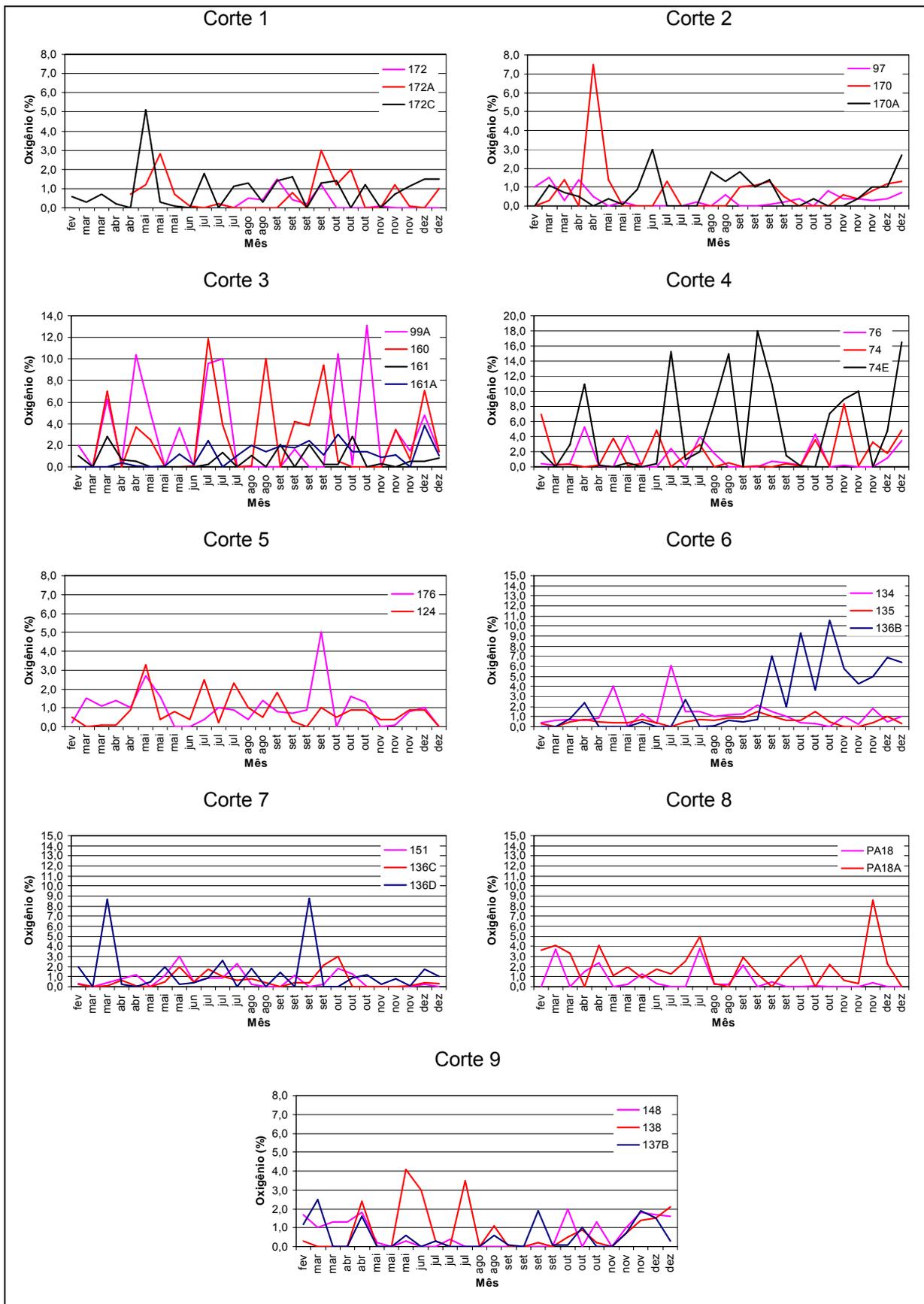


Figura 35 – Gráficos de acompanhamento do teor de oxigênio (%) de todos os poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.

O monitoramento do teor oxigênio é de extrema importância principalmente por dois motivos: (1) indica que o sistema está extraindo do poço uma quantidade de gás que o poço não está produzindo; (2) o teor de oxigênio no biogás deve ser mantido baixo, pois pode haver ignição dentro de tubulações ou equipamentos se a mistura atingir os limites de ignição e explosividade perigosos. Todas as linhas devem ser monitoradas periodicamente, além da monitoração contínua na Usina de Gás.

Teor de O₂ acima de 6% não pode ser tolerado e deve provocar imediato fechamento da linha correspondente. Se esse teor for detectado na Usina de Gás, deve provocar o imediato desligamento total da mesma.

A presença de oxigênio no maciço do aterro prejudica o crescimento das bactérias metanogênicas que trabalham somente em condições anaeróbicas e assim a qualidade do metano gás decai e, conseqüentemente, a produção do poço também. Verificou-se, no período estudado, que quando isto ocorria o metano extraído do poço demorava em média uma semana para voltar a patamares aceitáveis de extração.

5.2.3 Pressão

Tabela 13 – Dados de pressão (mbar) média de biogás obtidos dos poços de extração na análise de cortes, por estratificação de profundidade.

	Pressão média (mbar)	Desvio Padrão
Profundidade alta	-4,35	4,36
Profundidade intermediária	-3,89	7,16
Profundidade rasa	-4,13	7,93
Valor máximo	5,00	
Valor mínimo	-63,00	

A análise geral mostrou que os poços apresentaram uma pressão média de -4,83 mbar (DP +/- 1,62). Quando verificada a vazão dos poços por estratificação de profundidade, encontra-se a seguinte relação: os poços mais profundos tiveram uma vazão média de -4,35 mbar (DP +/- 4,36), os poços intermediários tiveram uma vazão média de -3,89 mbar (DP +/- 7,16) e os poços rasos tiveram uma vazão média de -4,13 mbar (DP +/- 7,93) (Tabela 13).

Como já mencionado, os dados de pressão coletados nesta análise de cortes foram obtidos no coletor de biogás (CLT). A coleta dos dados de pressão

no coletor de cada poço tem como principal objetivo: (a) garantir que o sistema esteja coletando o gás produzido, ou seja, a pressão não pode estar positiva, isto indicaria que o sistema está perdendo gás para o maciço; e (b) indicar se há presença de acumulação de condensado na tubulação formando sifão, que impede a passagem do gás dentro da tubulação. O indício de acumulação se dá por variações bruscas da pressão medida.

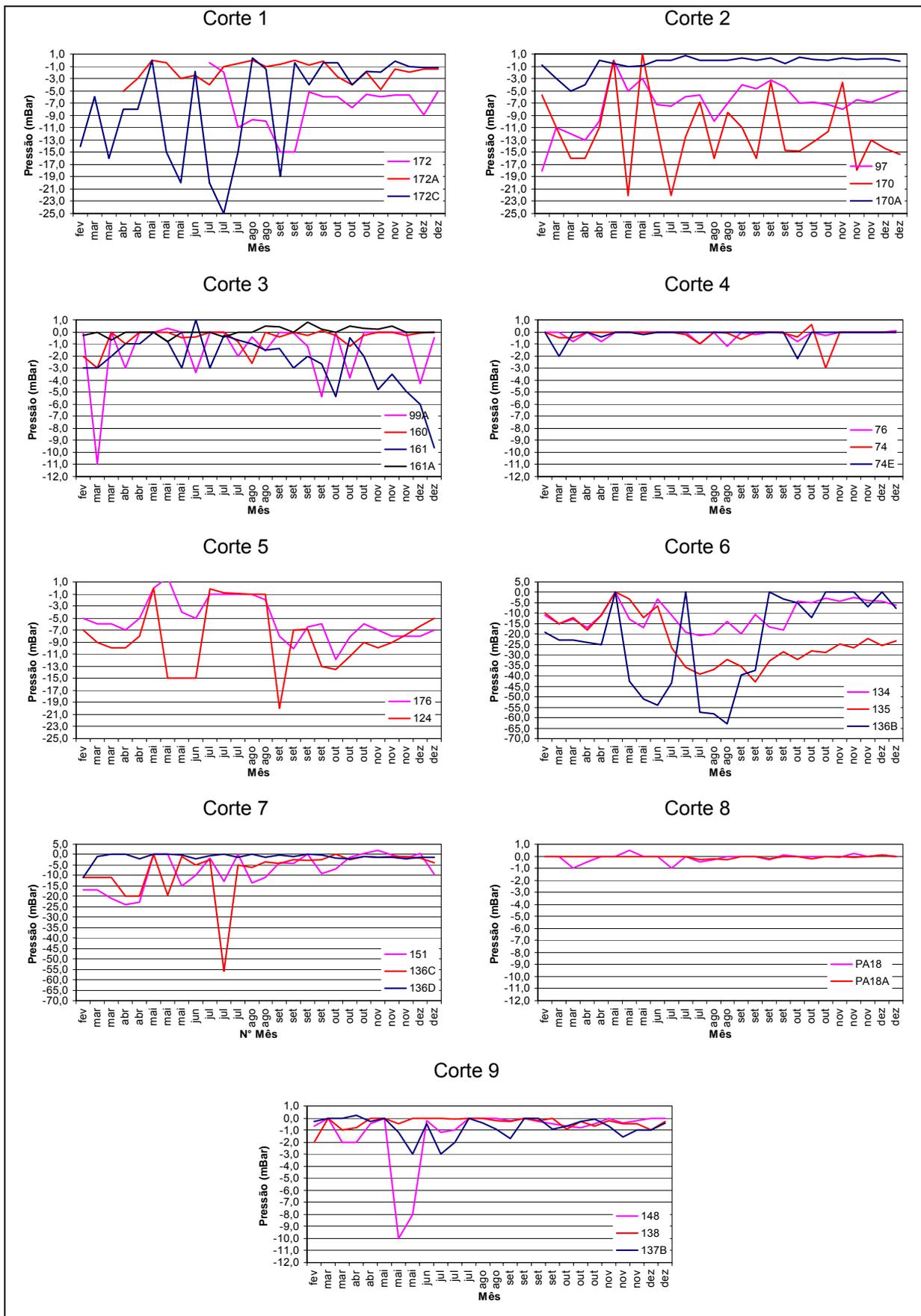


Figura 36 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mBar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de cortes no período de fevereiro de 2005 a dezembro de 2005.

As variações das pressões apresentadas na Figura 36 acompanham também a regulagem feita pelo monitoramento de acordo com a qualidade do gás. Esses valores de pressão podem dar uma indicação da produção de gás do poço. Se a medição de pressão em um determinado poço estiver positiva e a válvula de abertura estiver na posição máxima, indica que a pressão no entorno do poço deve ser aliviada. Uma forma de resolver isto é duplicar a saída de coleta para que o sistema aplique mais pressão no poço de extração, caso contrário, o gás pode sair por rotas preferências que não o sistema de coleta.

Um dos maiores problemas do monitoramento do sistema de captação deste tipo de empreendimento é a formação deste condensado que impede a passagem do gás. Pelo fato do biogás ser 100% saturado de umidade, a formação de gotículas dentro da tubulação faz com que se acumule grande quantidade de líquido condensado em pontos da tubulação onde não há declividade suficiente para se escoar esse líquido. Para solução deste problema, foram instalados separadores de condensado em pontos estratégicos da tubulação do sistema e em cada coletor. Este condensado volta para o maciço do aterro através dos drenos horizontais que encaminha até a lagoa de estabilização e assim é levado para uma estação de tratamento de esgoto (ETE).

5.3 Análise de poços com extração passiva

As análises dos itens de produção do poço, qualidade do gás e pressão, como na análise anterior, também serão divididas por poço para tornar mais fácil à comparação com os poços com extração ativa.

5.3.1 Produção

5.3.1.1 Análise Geral

Tabela 14 – Dados gerais de vazão ($N.m^3/h$) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço - 5A	Vazão (N.m³/h)
Média	54,69
Desvio Padrão	11,07
Valor Máximo	73,59
Valor Mínimo	24,63
Poço - 134B	Vazão (N.m³/h)
Média	26,85
Desvio Padrão	5,99
Valor Máximo	37,63
Valor Mínimo	11,97
Poço - 123	Vazão (N.m³/h)
Média	76,39
Desvio Padrão	12,84
Valor Máximo	100,92
Valor Mínimo	49,61

De uma forma geral os poços tiveram uma vazão máxima de 100,92 N.m³/h e mínima de 11,97 N.m³/h (Tabela 14). Os dados desta análise serão discutidos no item que tratará do estudo destes mesmos poços, só que com extração ativa (exaustão forçada), para uma comparação dos dados.

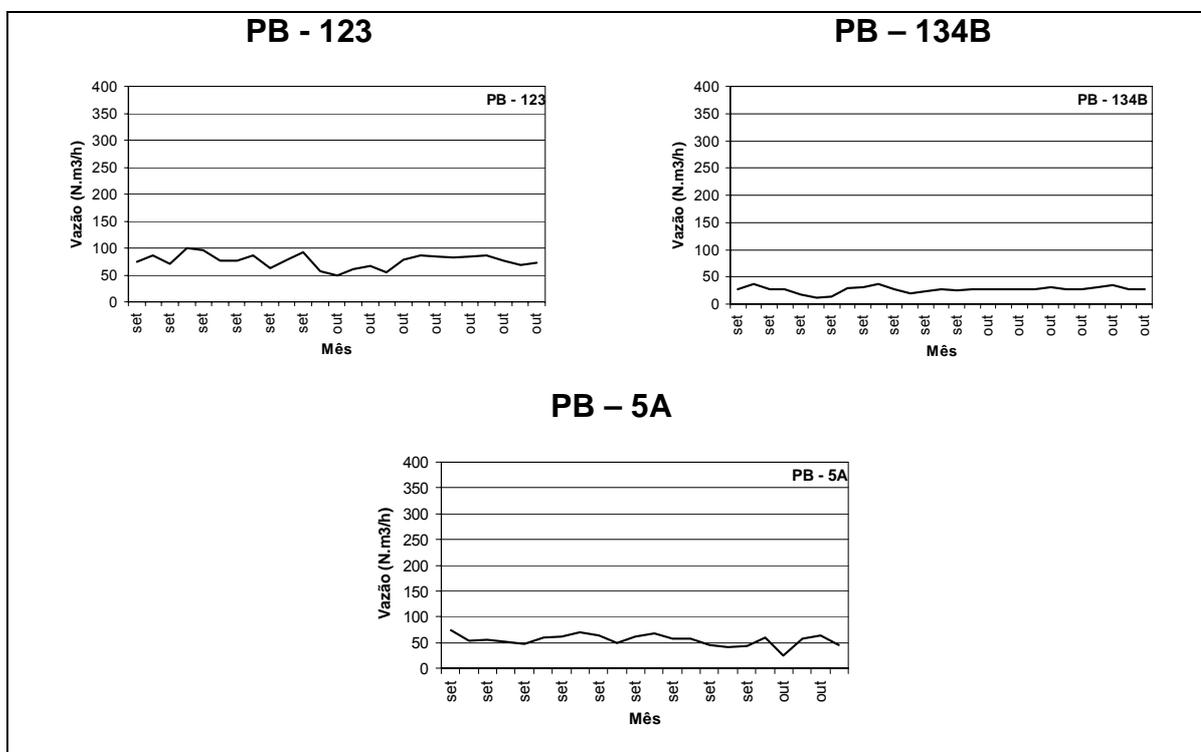


Figura 37 – Gráficos de acompanhamento da vazão (N.m³/h) medida nos coletores de todos os poços estudados na análise de poços com extração passiva.

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma vazão média de 76,39 N.m³/h (DP +/- 12,84). Houve pouca variação na produção do poço, o valor máximo e mínimo foi de 100,92 e 49,61 N.m³/h respectivamente (Tabela 14 e Figura 37). Este foi o poço acompanhado que apresentou as maiores vazões registradas em relação aos outros dois poços.

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma vazão média de 26,86 N.m³/h (DP +/- 5,99). Houve pouca variação na produção do poço, o valor máximo e mínimo foi de 37,63 e 11,97 N.m³/h respectivamente (Tabela 14 e Figura 37). Este foi o poço acompanhado que apresentou as menores vazões registradas em relação aos outros dois poços.

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma vazão média de 54,69 N.m³/h (DP +/- 11,07). Houve pouca variação na produção do poço, o valor máximo e mínimo foi de 73,59 e 24,63 N.m³/h respectivamente (Tabela 14 e Figura 37). Este foi o poço acompanhado que apresentou uma vazão intermediária em relação aos outros dois poços.

5.3.2 Qualidade do Gás

5.3.2.1 Análise Geral

Tabela 15 – Dados gerais de qualidade do gás (% de oxigênio e metano) dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço - 5A	CH4 (%)	O2 (%)
Média	57,65	0,10
Desvio Padrão	1,65	0,12
Valor Máximo	63,30	0,30
Valor Mínimo	54,80	0,00
Poço - 134B	CH4 (%)	O2 (%)
Média	57,88	0,10
Desvio Padrão	1,22	0,13
Valor Máximo	60,10	0,40
Valor Mínimo	54,70	0,00

Poço - 123	CH4 (%)	O2 (%)
Média	56,98	0,04
Desvio Padrão	1,16	0,06
Valor Máximo	58,80	0,20
Valor Mínimo	53,80	0,00

A análise da presença do oxigênio nas amostras será descartada, pois como esta análise não foi usada extração do biogás ativa (forçada), a quantidade de oxigênio em todos os poços foi desprezível (nem um poço ultrapassou 1% de O₂) (Tabela 15 e Figura 38), ainda mais se for considerado o erro do aparelho de medição do gás (+/- 1,0%). A presença de oxigênio na amostra pode indicar uma baixa vazão em sistemas de extração passivos, que dependem da pressão interna dentro do maciço do aterro para a exaustão dos gases, por isso estes sistemas são mais eficientes em regiões com alta produção de gás (USACE, 1995).

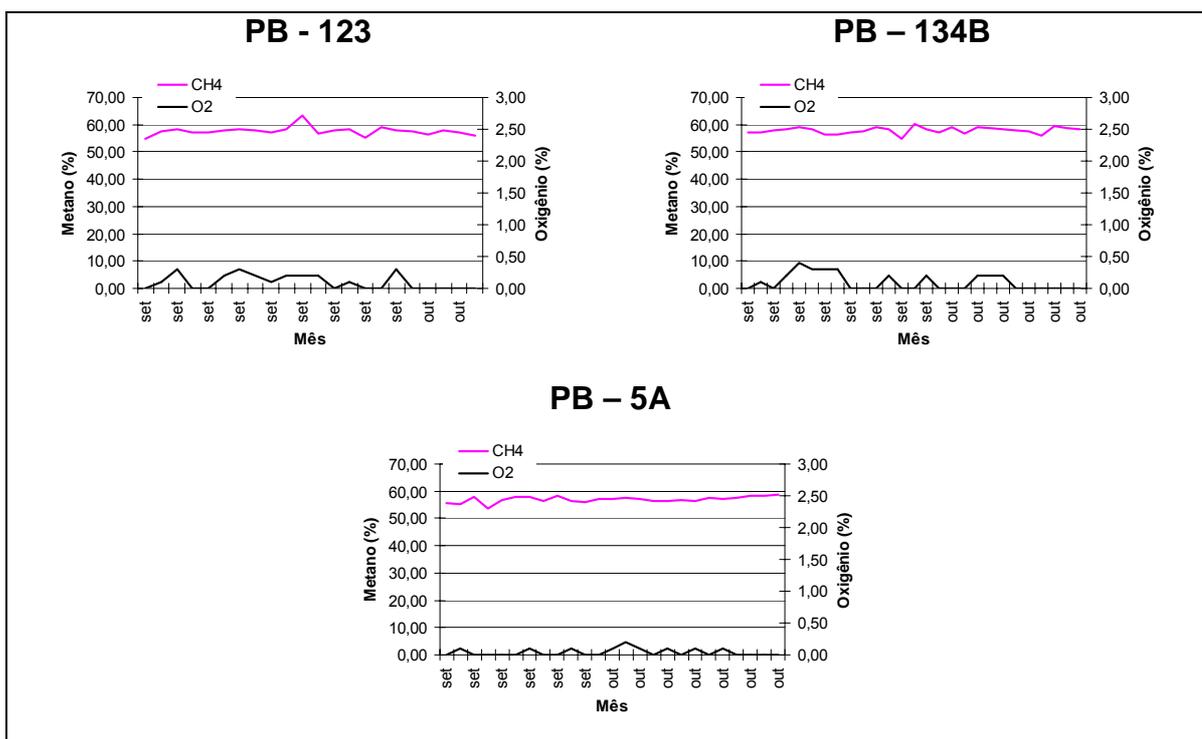


Figura 38 – Gráficos de acompanhamento do teor do metano (linha rosa) e de oxigênio (linha azul) medido nos coletores de todos os poços estudados na análise de poços com extração passiva.

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma porcentagem média de metano de 56,98 % (DP +/- 1,16). Houve pouca variação na porcentagem média de metano do poço sendo que o valor máximo e mínimo foi de 58,80 e 53,80 % respectivamente (Tabela 15 e Figura 38).

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma porcentagem média de metano de 57,88 % (DP +/- 1,22). Houve pouca variação na porcentagem média de metano do poço sendo que o valor máximo e mínimo foi de 60,10 e 54,70 % respectivamente (Tabela 15 e Figura 38).

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma porcentagem média de metano de 57,65 % (DP +/- 1,65). Houve pouca variação na porcentagem média de metano do poço, o valor máximo e mínimo foi de 63,30 e 54,80 % respectivamente (Tabela 15 e Figura 38).

Os valores do teor de metano indicaram altas concentrações frente a poços com extração ativa, que serão discutidas a seguir. Os patamares de concentrações de metano no biogás encontradas do presente trabalho (57%) são encontrados na maioria de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VINIL, 1993).

5.3.3 Pressão

Os dados de pressão desta análise foram retirados somente em nível de certificação de que o gás estava tendo um comportamento condizente com o esperado, como o comportamento observado na Figura 33, o comportamento foi similar em todos os três poços, ficando praticamente com uma pressão um pouco acima do zero. As pressões negativas podem ser consideradas o erro do aparelho que é de +/- 0,1 (Tabela 16 e Figura 39).

5.3.3.1 Análise Geral

Tabela 16 – Dados gerais de pressão (mbar) dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço - 5A	Pressão (mBar)
Média	0,10
Desvio Padrão	0,15
Valor Máximo	0,50
Valor Mínimo	-0,20
Poço - 134B	Pressão (mBar)
Média	0,02
Desvio Padrão	0,18
Valor Máximo	0,40
Valor Mínimo	-0,30
Poço - 123	Pressão (mBar)
Média	0,20
Desvio Padrão	0,18
Valor Máximo	0,50
Valor Mínimo	-0,30

A pressão nesta análise mostra somente que no caso de um aterro em atividade, a pressão interna é normalmente maior que a pressão atmosférica, e os gases de aterro saíram mediante difusão e fluxo convectivo (conduzido por pressão).

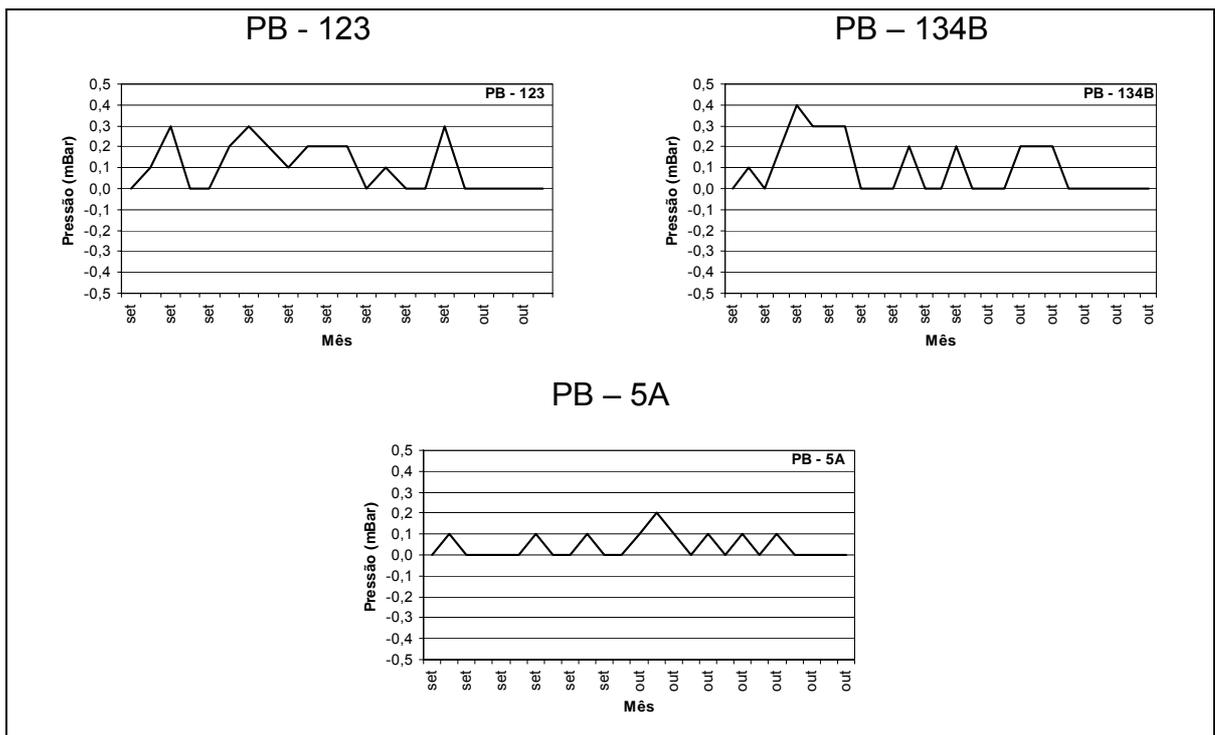


Figura 39 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mbar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração passiva.

5.4 Análise de poços de extração ativa

5.4.1 Produção

5.4.1.1 Análise Geral

Tabela 17 – Dados de vazão média (N.m³/h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

Poço - 5A	Vazão (N.m ³ /h)
Média	295,52
Desvio Padrão	48,57
Valor Máximo	367,35
Valor Mínimo	168,26
Poço - 134B	Vazão (N.m ³ /h)
Média	221,44
Desvio Padrão	65,12
Valor Máximo	325,70
Valor Mínimo	85,37
Poço - 123	Vazão (N.m ³ /h)
Média	207,67
Desvio Padrão	32,51
Valor Máximo	270,47
Valor Mínimo	108,30

Quando é aplicado o vácuo, é criada uma zona de influência que se propaga à massa dos resíduos sólidos ao redor de cada poço e dentro da qual o gás gerado é aspirado para o sistema de captação e direcionado para a Usina. O valor máximo e mínimo registrado de vazão dos poços de extração nesta análise foi de 367,35 N.m³/h e 85,37 N.m³/h respectivamente (Tabela 17).

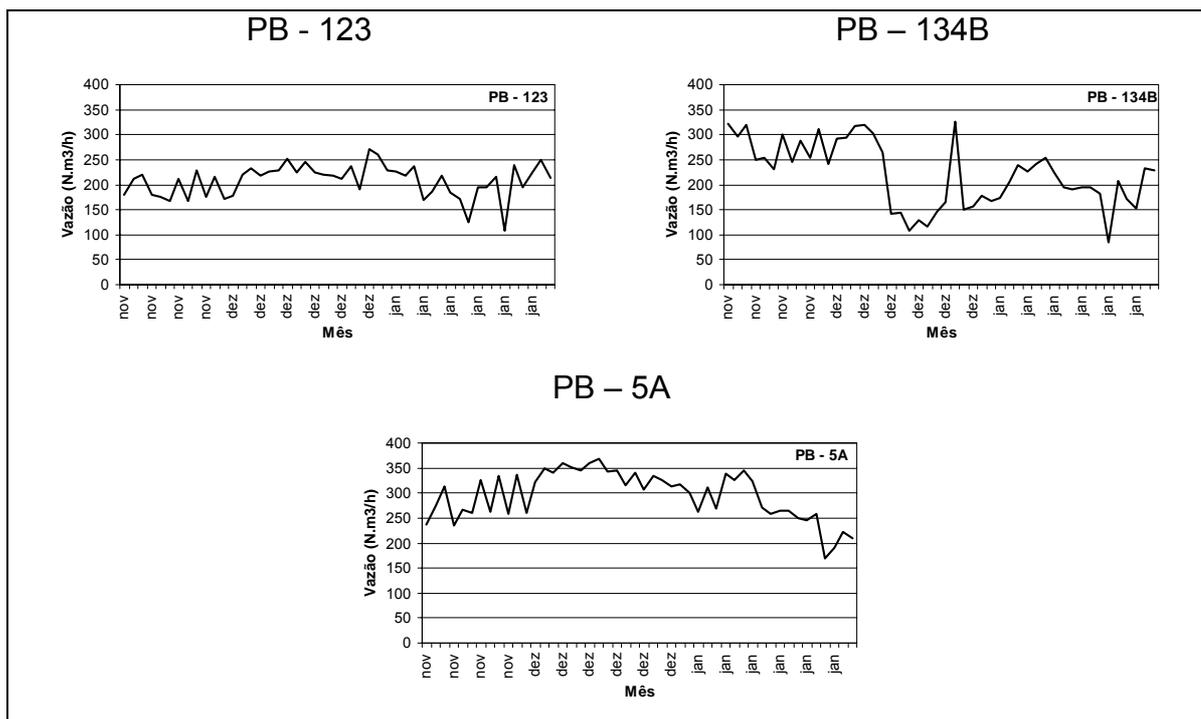


Figura 40 – Gráficos de acompanhamento da vazão (N.m³/h) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração ativa.

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma vazão média de 207,67 N.m³/h (DP +/- 32,51). Houve bastante variação na extração do poço, o valor máximo e mínimo foi de 270,47 e 108,30 N.m³/h respectivamente. (Tabela 17 e Figura 40).

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma vazão média de 221,44 N.m³/h (DP +/- 65,12). Houve bastante variação na extração do poço, o valor máximo e mínimo foi de 325,70 e 85,37 N.m³/h respectivamente (Tabela 17 e Figura 40).

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma vazão média de 295,52 N.m³/h (DP +/- 48,57). Houve bastante variação na extração do poço, o valor máximo e mínimo foi de 367,35 e 168,26 N.m³/h respectivamente (Tabela 17 e Figura 40).

De modo geral, os três poços analisados apresentaram uma vazão média em torno de 250 N.m³/h. Ambos também foram registrados grandes variações na vazão representadas pelo desvio padrão (DP) em relação à média (Figura 40).

Percebe-se que poços com extração ativa produzem vazão de biogás do que o medido com o sistema passivo. O poço 5A, por exemplo, apresenta uma diferença da média de vazão com sistema de extração passiva para a ativa de até cinco vezes mais (295,52 N.m³/h para o ativo e 54,69 N.m³/h para o passivo). Isto se deve ao fato de que poços com a extração ativa possuem uma área de influência no maciço de aterro muito maior no maciço do aterro do que poços com extração passiva (Tabela 18).

Tabela 18 – Tabela comparativa de vazão dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).

POÇOS COM EXTRAÇÃO ATIVA		POÇOS COM EXTRAÇÃO PASSIVA	
Poço - 5A	Vazão (N.m ³ /h)	Poço - 5A	Vazão (N.m ³ /h)
Média	295,52	Média	54,69
Desvio Padrão	48,57	Desvio Padrão	11,07
Valor Máximo	367,35	Valor Máximo	73,59
Valor Mínimo	168,26	Valor Mínimo	24,63
Poço - 134B	Vazão (N.m ³ /h)	Poço - 134B	Vazão (N.m ³ /h)
Média	221,44	Média	26,85
Desvio Padrão	65,12	Desvio Padrão	5,99
Valor Máximo	325,70	Valor Máximo	37,63
Valor Mínimo	85,37	Valor Mínimo	11,97
Poço - 123	Vazão (N.m ³ /h)	Poço - 123	Vazão (N.m ³ /h)
Média	207,67	Média	76,39
Desvio Padrão	32,51	Desvio Padrão	12,84
Valor Máximo	270,47	Valor Máximo	100,92
Valor Mínimo	108,30	Valor Mínimo	49,61

Testes de poços com sucção possibilitam a avaliação do raio de coleta do poço e a máxima vazão possível até o limite em que o ar atmosférico penetra através na superfície do aterro devido à pressão negativa. Testes desse tipo foram feitos no Aterro dos Bandeirantes em 1997 seguindo a metodologia da USEPA (1991), usada para dimensionamento de projetos de aproveitamento de biogás em aterros sanitários (Figura 41). Esses testes verificaram o potencial de extração deste aterro de $7,160 \cdot 10^{-4}$ m³/h t de lixo, sendo que a área de influência do poço no aterro foi de um raio de 30 m (USEPA, 1997) (Figura 41).

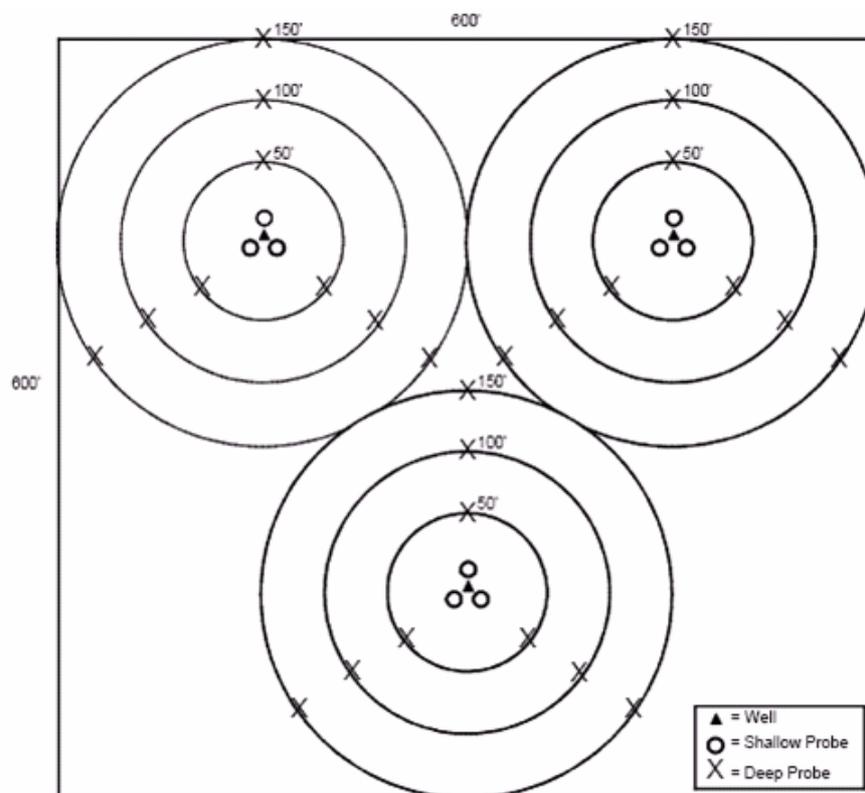


Figura 41 – Distribuição de medição de pressão usada nos testes de avaliação da influência dos poços no maciço dos aterros sanitários (USEPA, 1991).

5.4.2 Qualidade do Gás

5.4.2.1 Análise Geral

Tabela 19 – Dados de qualidade média do biogás (% de oxigênio e % metano) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

Poço - 5A	CH4 (%)	O2 (%)
Média	52,22	1,08
Desvio Padrão	2,75	0,71
Valor Máximo	56,70	2,80
Valor Mínimo	45,10	0,00
Poço - 134B	CH4 (%)	O2 (%)
Média	51,83	0,99
Desvio Padrão	3,41	0,75
Valor Máximo	58,40	2,70
Valor Mínimo	43,60	0,00
Poço - 123	CH4 (%)	O2 (%)
Média	55,80	0,04
Desvio Padrão	1,51	0,10
Valor Máximo	58,80	0,50
Valor Mínimo	50,50	0,00

Diferentemente dos poços com extração passiva, a qualidade do biogás extraído por extração ativa variou bastante durante o período acompanhado. A baixa da qualidade do metano em relação à extração passiva e a evidência de presença de oxigênio mostram que houve uma influência da pressão negativa no maciço do aterro fazendo com que o gás viesse de uma região do entorno imediato do poço maior (Tabela 19 e Figura 42).

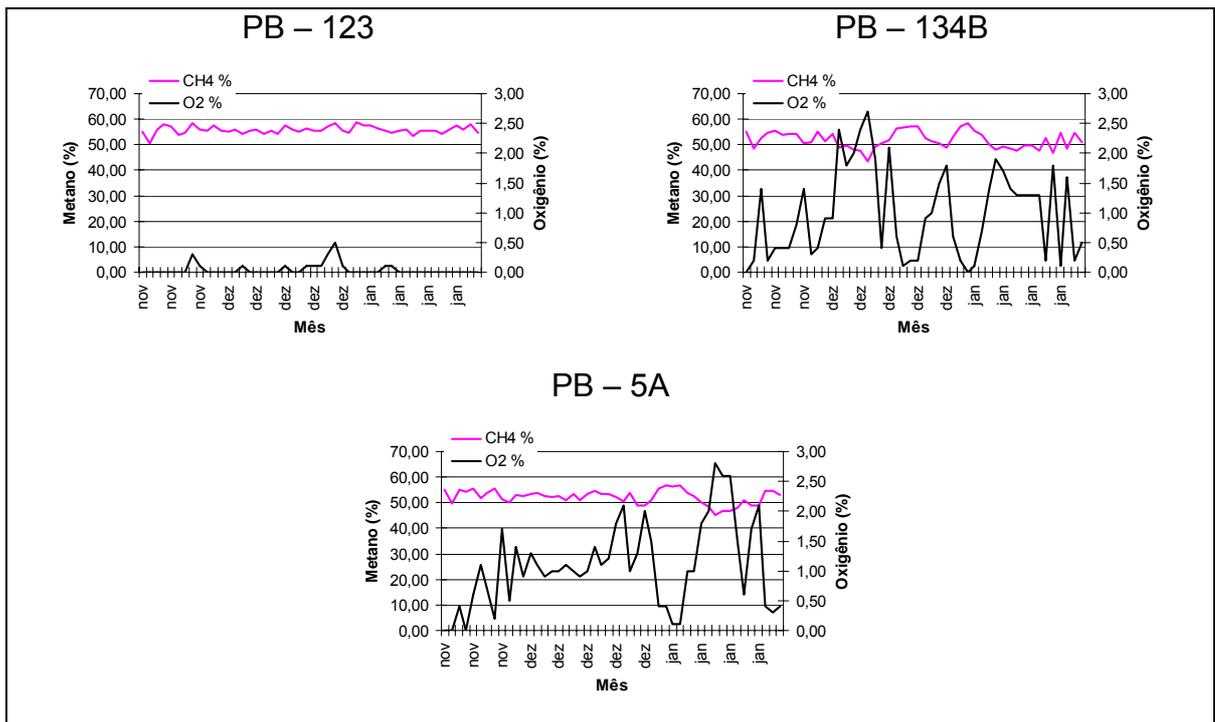


Figura 42 – Gráficos de acompanhamento do teor de metano (%) (linha rosa) e de oxigênio (%) (linha preta) medida nos coletores dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

5.4.2.2 Metano

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma porcentagem média de metano de 55,80 % (DP +/- 1,51). Houve uma relativa variação na porcentagem média de metano do poço, o valor máximo e mínimo foi de 58,80 e 50,50 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma porcentagem média de metano de 51,83 % (DP +/- 3,41). Houve muita variação na porcentagem média de metano do poço, o valor máximo e mínimo foi de 58,40 e 43,60 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma porcentagem média de metano de 52,22 % (DP +/- 2,75). Houve pouca variação na porcentagem média de metano do poço, o valor máximo e mínimo foi de 56,70 e 45,10 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

Nota-se claramente que as médias dos valores de porcentagem de metano no biogás coletado por extração ativa são bem abaixo das médias dos com extração passiva, com exceção do poço 123 que variou relativamente pouco comparado com os outros poços (Tabela 20).

O poço 134B teve uma diminuição da média do metano de 57,83 % (passiva) para 51,83 (ativa). O poço 5A teve uma diminuição da média do metano de 57,65 % (passiva) para 52,22 (ativa) (Tabela 20).

Tabela 20 – Tabela comparativa de teor de metano (%) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).

POÇOS COM EXTRAÇÃO ATIVA		POÇOS COM EXTRAÇÃO PASSIVA	
Poço - 5A	CH₄ (%)	Poço - 5A	CH₄ (%)
Média	52,22	Média	57,65
Desvio Padrão	2,75	Desvio Padrão	1,65
Valor Máximo	56,70	Valor Máximo	63,30
Valor Mínimo	45,10	Valor Mínimo	54,80
Poço - 134B	CH₄ (%)	Poço - 134B	CH₄ (%)
Média	51,83	Média	57,88
Desvio Padrão	3,41	Desvio Padrão	1,22
Valor Máximo	58,40	Valor Máximo	60,10
Valor Mínimo	43,60	Valor Mínimo	54,70
Poço - 123	CH₄ (%)	Poço - 123	CH₄ (%)
Média	55,80	Média	56,98
Desvio Padrão	1,51	Desvio Padrão	1,16
Valor Máximo	58,80	Valor Máximo	58,80
Valor Mínimo	50,50	Valor Mínimo	53,80

5.4.2.3 Oxigênio

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma porcentagem média de oxigênio de 0,04 % (DP +/- 0,09). Houve uma relativa variação na porcentagem média de oxigênio do poço, o valor máximo e mínimo foi de 0,50 e 0,00 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma porcentagem média de oxigênio de 0,99 % (DP +/- 0,75). Houve muita variação na porcentagem média de oxigênio do poço, o valor máximo e mínimo foi de 2,70 e 0,00 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma porcentagem média de oxigênio de 1,08 % (DP +/- 0,71). Houve muita variação na porcentagem média de oxigênio do poço, o valor máximo e mínimo foi de 2,80 e 0,00 % respectivamente (Tabela 19 e Figura 42).

Tabela 21 – Tabela comparativa de teor de oxigênio (%) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).

POÇOS COM EXTRAÇÃO ATIVA		POÇOS COM EXTRAÇÃO PASSIVA	
Poço - 5A	O2 (%)	Poço - 5A	O2 (%)
Média	1,08	Média	0,10
Desvio Padrão	0,71	Desvio Padrão	0,12
Valor Máximo	2,80	Valor Máximo	0,30
Valor Mínimo	0,00	Valor Mínimo	0,00
Poço - 134B	O2 (%)	Poço - 134B	O2 (%)
Média	0,99	Média	0,10
Desvio Padrão	0,75	Desvio Padrão	0,13
Valor Máximo	2,70	Valor Máximo	0,40
Valor Mínimo	0,00	Valor Mínimo	0,00
Poço - 123	O2 (%)	Poço - 123	O2 (%)
Média	0,04	Média	0,04
Desvio Padrão	0,10	Desvio Padrão	0,06
Valor Máximo	0,50	Valor Máximo	0,20
Valor Mínimo	0,00	Valor Mínimo	0,00

Apesar dos valores de teor de oxigênio ser maior nos poços com extração ativa a diferença não foi significativa em termos de operação do sistema. Como mencionado anteriormente, valor de teor de oxigênio de até 3% é aceitável em projetos de aproveitamento do biogás de aterro deste tipo, pois não afeta o funcionamento da Usina de Gás nem da Usina de Geração. Valores acima disso tornam-se perigosos por tornarem uma mistura explosiva.

5.4.3 Pressão

Como dito anteriormente as variações de pressão pode indicar as variações na produção de biogás de um determinado poço. O poço 123 pode ser um parâmetro de comparações, pois ficou constantemente aberto na posição máxima da válvula de regulação dos poços no Coletor (Figura 43).

5.4.3.1 Análise Geral

Tabela 22 – Dados de qualidade pressão (mbar) no coletor dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

Poço - 5A	Pressão (mBar)
Média	-23,34
Desvio Padrão	5,30
Valor Máximo	-9,70
Valor Mínimo	-31,80
Poço - 134B	Pressão (mBar)
Média	-6,84
Desvio Padrão	2,87
Valor Máximo	-1,20
Valor Mínimo	-11,40
Poço - 123	Pressão (mBar)
Média	-8,44
Desvio Padrão	2,22
Valor Máximo	-0,80
Valor Mínimo	-12,90

Não foi achado na literatura monitoramento da pressão em poços de projetos de captação e aproveitamento do gás de aterro a título de comparação com o presente estudo. O estudo da pressão exercida do sistema em poços é importante para se entender a perda de carga do sistema de captação. O termo perda de carga é usado como sendo parte da energia potencial, de pressão e de

velocidade que é transformada em outros tipos de energia, tal como o calor, durante o processo de condução de água (AZEVEDO NETTO, 1966).

O estudo desta perda de energia leva ao seguinte fenômeno: quanto mais longe o poço, mais há “perda de carga” do sistema com relação à pressão exercida no começo da rede de captação (Usina de Gás). O estudo do dimensionamento das tubulações do sistema de captação de biogás em um aterro é essencial para a correta extração do gás e economia de capital.

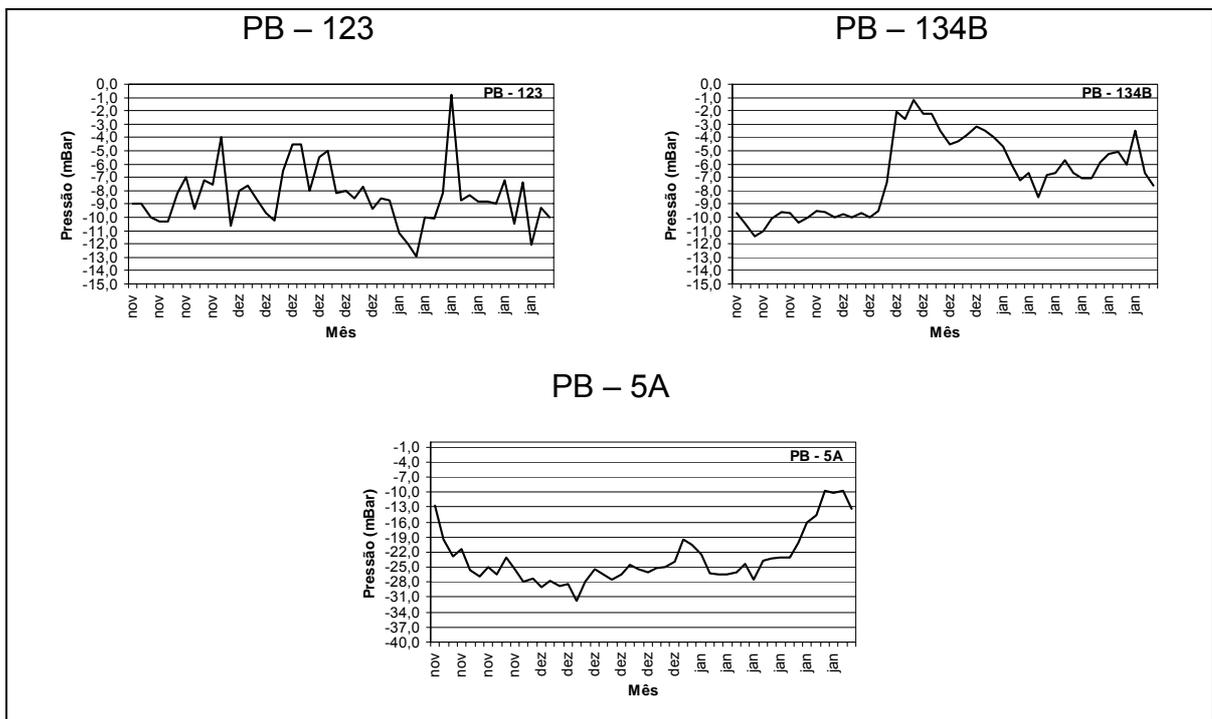


Figura 43 – Gráficos de acompanhamento da pressão (mbar) medida nos coletores dos poços estudados na análise de poços com extração ativa.

PB – Poço de Biogás 123

A análise mostrou que o PB 123 apresentou uma pressão média no coletor (CLT) de -8,44 mbar (DP +/- 2,22). Houve uma relativa variação na pressão média dos poços no CLT, o valor máximo e mínimo foi de -0,80 e -12,90 mbar respectivamente (Tabela 22 e Figura 43).

PB – Poço de Biogás 134B

A análise mostrou que o PB 134B apresentou uma pressão média no coletor (CLT) de -6,84 mbar (DP +/- 2,87). Houve uma relativa variação na

pressão média dos poços no CLT, o valor máximo e mínimo foi de -1,20 e -11,40 mbar respectivamente (Tabela 22 e Figura 43).

PB – Poço de Biogás 5A

A análise mostrou que o PB 5A apresentou uma pressão média no coletor de -23,34 mbar (DP +/- 5,30). Houve uma relativa variação na pressão média dos poços no CLT, o valor máximo e mínimo foi de -9,70 e -31,80 mbar respectivamente (Tabela 22 e Figura 43).

Mesmo com a válvula aberta constantemente na posição máxima, o PB-123 sofreu variações consideráveis na pressão medida no CLT. Isto se dá por variações na pressão interna do maciço aterro já mencionado anteriormente (Figura 43).

Tabela 23 – Tabela comparativa da pressão (mbar) dos poços de extração obtidos na análise de poços com extração ativa (azul) e passiva (amarelo).

POÇOS COM EXTRAÇÃO ATIVA		POÇOS COM EXTRAÇÃO PASSIVA	
Poço - 5A	Pressão (mbar)	Poço - 5A	Pressão (mbar)
Média	-23,34	Média	0,10
Desvio Padrão	5,30	Desvio Padrão	0,15
Valor Máximo	-9,70	Valor Máximo	0,50
Valor Mínimo	-31,80	Valor Mínimo	-0,20
Poço - 134B	Pressão (mbar)	Poço - 134B	Pressão (mbar)
Média	-6,84	Média	0,02
Desvio Padrão	2,87	Desvio Padrão	0,18
Valor Máximo	-1,20	Valor Máximo	0,40
Valor Mínimo	-11,40	Valor Mínimo	-0,30
Poço - 123	Pressão (mbar)	Poço - 123	Pressão (mbar)
Média	-8,44	Média	0,20
Desvio Padrão	2,22	Desvio Padrão	0,18
Valor Máximo	-0,80	Valor Máximo	0,50
Valor Mínimo	-12,90	Valor Mínimo	-0,30

Obviamente os valores de pressão do sistema de extração ativa em comparação ao passivo se diferem bastante. Os sopradores (*blowers*) da Planta de Gás exercem uma pressão negativa, onde o valor varia de poço para poço em função da perda de carga e quantidade de gás de cada um.

Os dados brutos de todas as análises do presente trabalho estão apresentados em forma de tabelas e foram colocados em Anexo para consulta.

5.5 Considerações Finais sobre os Resultados

Os parâmetros ambientais externos, como a temperatura atmosférica, podem influenciar na produção de biogás, assim como os índices de pluviosidade do período estudado. Esses parâmetros podem ter influenciado mais a análise de corte que coletou dados durante um maior período do ano (análise de cortes). Já nas outras análises, como compreendeu um período menor (análise de extração), o parâmetro que pode ter influenciado pode ter sido a pluviosidade (PACEY, 1986).

A temperatura não somente influencia a atividade metabólica da população de microrganismos, mas também produz um profundo efeito em fatores de velocidade de transferência gasosa e estabelecem características nos sólidos biológicos (METCALF & EDDY, 1991). Segundo SPEECE (1996), para cada 5°C de queda de temperatura há um declínio de 34% da atividade dos microorganismos.

O fato de captar biogás em um aterro sanitário ainda em operação, onde a disposição diária de lixo acontece em diversas partes do aterro, pode promover o aproveitamento do gás em uma área maior do aterro. No entanto, as variações na extração e na qualidade do biogás estão mais susceptíveis de acontecer pois a movimentação do aterro (recalque), que pode chegar à ordem de 30%, faz com que drenos horizontais e verticais se movimentem junto com o maciço e causem entupimento nos mesmos, bem como a formação de bolsões de chorume que causam variações na umidade e pH ótimos para o crescimento de bactérias metanogênicas (KÖNIG & JESSBERGER, 1997).

No que diz respeito ao monitoramento dos poços de biogás para um projeto de aproveitamento de gás de aterro para a produção de energia, é necessário considerar que:

- O acompanhamento dos parâmetros básicos (pressão, vazão e qualidade) é essencial para que a Usina de Geração receba um biogás com qualidade e quantidade mínimas para um projeto viável economicamente.

- No estudo de caso em questão, onde a captação se dá em um aterro ainda em operação, o monitoramento do sistema de captação é essencial para dar subsídios para a operadora do aterro sanitário tomar decisões no que diz respeito à geotecnia do maciço do aterro, bem como dinâmica da frota de máquinas e caminhões que podem ter dificuldades de trafegar no aterro pelo fato de tubulações de captação do gás estar cruzando taludes e bermas do aterro.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

6.1 Conclusões

O estudo mostrou que não há, para o caso do aterro em questão, com alturas de resíduos sólidos urbanos que ultrapassam os 100 metros, uma relação direta de poços mais profundos com a qualidade e produção de biogás. Poços com uma profundidade intermediária (20 – 30 metros) tiveram os maiores vazões e teor de metano do gás extraído.

Nos fatores que podem justificar essa condição, apontam-se as grandes movimentações do aterro, que devem afetar os drenos verticais e horizontais internos, tendo por conseqüência um caminhamento diferenciado do biogás, implicando uma captação não diretamente relacionada às profundidades perpassadas. Em função dessa condição, parte do biogás pode estar se redirecionando por meio do sistema de drenagem interna para caminhamentos que não essencialmente a dos próprios drenos verticais específicos. Nessas condições, o biogás não necessariamente resulta presente na totalidade dos drenos verticais, mas caminhando-se preferencialmente para determinadas regiões específicas, tornando, desse modo, vital para o sucesso da captação o pleno entendimento da logística e projeto de drenagem interna associada, além das condições de distribuição piezométrica inerente.

Os poços com extração ativa, em comparação com poços com extração passiva, demonstraram diferenças significativas nos valores dos parâmetros acompanhados. Os resultados indicaram que poços com extração ativa afetam, de forma clara, regiões do maciço do aterro em seu entorno imediato. Isso é evidenciado pela grande diferença nas médias de produção e qualidade do biogás dos poços com extração ativa em relação a poços com extração passiva. Outro indício deste fenômeno é a presença de oxigênio nos poços com extração ativa, o que indica que o ar atmosférico está sendo succionado por trincas ou fissuras encontradas no aterro. Portanto, as condições de impermeabilização do aterro e do sistema de drenagem passam a ser variáveis importantes no monitoramento do sistema de captação de biogás de um aterro sanitário.

O monitoramento do sistema de coleta de gás por meio do acompanhamento de parâmetros de pressão, qualidade e produção dos poços é instrumento fundamental. Um funcionamento não adequado desse sistema em relação ao potencial de cada região prospectada pode acarretar migrações heterogêneas e inadequadas, com perdas difusas do gás, por trincas e fissuras no aterro, ou uma indesejada inserção de oxigênio da atmosfera no sistema.

A metodologia do diagnóstico do sistema de captação se mostrou eficiente para o projeto do estudo de caso em questão pelo fato de se colher informações essenciais para decisões por parte da operação do aterro e operação da usina de captação e geração de energia, principalmente pelo fato de o empreendimento constituir-se pioneiro, principalmente nessa envergadura, no País.

As maiores dificuldades encontradas no monitoramento do sistema de captação foram: (1) o acúmulo de condensado nas tubulações, principalmente nas secundárias que tem o diâmetro menor, que fazem com que, em muitos casos, o biogás não consiga passar pela tubulação; (2) administrar da qualidade do gás em função das variações climáticas diárias e sazonais; (3) o monitoramento dos poços instalados em um aterro ainda em operação, devido a constantes solicitações de mudanças de planos de instalação dos poços; e (4) a identificação da localização de rompimentos nas tubulações de PEAD devido a movimentos do maciço do aterro e oscilações da temperatura ambiente.

A forma ideal de captação do biogás de um poço com extração ativa é retirar-se o máximo de gás possível sem, entretanto, afetar o maciço do aterro do ponto de vista geotécnico e do potencial de geração intrínseca, região a região. Uma captação de forma não adequada pode acarretar no aumento da perda do biogás para a atmosfera, assim como encurtar o tempo de extração potencial do poço quando se afeta a vida bacteriana envolvida nas regiões de entorno de influência.

O estudo do comportamento de parâmetros acompanhados dos poços de captação por extração ativa de um aterro sanitário realizados, no presente trabalho, levantou as primeiras informações básicas para um correto monitoramento do sistema. Perspectivas futuras do monitoramento do sistema de captação para um projeto de aproveitamento do biogás de aterro serão aliadas a uma seqüência de estudos que foram sugeridos no próximo item.

6.2 Sugestões para pesquisas futuras

Estudos podem ser realizados comparando dados de monitoramento do sistema de captação de biogás de aterro por extração ativa com dados de temperatura atmosférica e de pluviosidade para se ter uma idéia do impacto desses parâmetros no sistema. Estas informações poderiam servir para a previsão do comportamento do sistema em diferentes épocas do ano e em diferentes regiões do Brasil e do mundo.

O impacto da pressão negativa do sistema de captação no maciço do aterro também pode ser comparado a estudos já realizados sem o sistema de extração ativa. Essas informações seriam importantes para a operação de um aterro sanitário no acompanhamento geotécnico do maciço, podendo dar subsídio ao monitoramento dos poços captados.

Aliados a estes estudos, análises estatísticas aprofundadas serviriam de base para identificar relações de fatores ambientais com fatores físicos característicos nos aterros. Análises estatísticas também podem verificar variâncias das médias dos parâmetros coletados entre poços de extração em diferentes locais do aterro frente à composição do lixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F.S. **Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal**. 1999. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília/DF.

ARCADIS. **Enerconsult S. A. Unidade Geradora do Aterro Bandeirantes – Manual de Operação**. Manual N°: 1.5.003-AM-0000-MI-1001. (2004). 89p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: resíduos sólidos**. 1987. 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos- Classificação, NBR 10004**, Brasil, 2004.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de Hidráulica**. 4. ed. São Paulo: E. Bucher. 1996. 865 p.

BARROS, R. T. V. et al. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Belo Horizonte -. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

BROWN, K. A. & MAUNDER, D. H. Exploitation of landfill gas: a UK prepective. **Water Science & Technology**. V. 30, n°12, pp 143-151. 1994.

CARVALHO F. M., KAIMOTO, L. S. A., VILAR O. M. 2000. Disponível em: <<http://www.geoamb.eng.ufba.br/ftp/arquivos/carvalhoetal2000soloserochas.pdf>> Acesso em. 15 dez 2005.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANAMENTO AMBIENTAL (1996). **Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final**. São Paulo.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANAMENTO AMBIENTAL (2002). **Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos**. Série Atas da CETESB. São Paulo.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA (COMLURB). Potencial Energético do Biogás de Aterros. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/comlurb/potencial_bio_gas.htm. Acesso em 23/12/2005.

D'ALMEIDA, M. L. O. & VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2º ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000. 370 p.

DANESE, Modesto. **Geração e Utilização de Biogás**. Associação Brasileira de Conservação de Energia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo. 1981.

ENGECORPS – Corpo de Engenheiros Consultores (1996). Rel: 064-SSO-NOD-B173. **Estado da Arte dos Aterros Sanitários** – Parte II, abril. 233p.

ENSINAS, V. A. (2003). **Estudo da Geração de Biogás no Aterro sanitário Delta em Campinas - SP**. Campinas, 2003. 190p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas.

EPA, U. E. P. A. -. (1996). Turning a Liability into an asset: A Landfill Gas-to-energy Project Development Handbook. USA Environmental Protection Agency – EPA.

EPA. 1999. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-1997. Office of Policy, Planning, and Evaluation, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC; EPA 236-R-99-003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/globalwarming/inventory/1999-inv.html>>. Acesso em 02 jan 2006.

EPA. 2002 Solid Waste Managements and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, US. EPA.

ESCOBAR, Herton. No combate ao efeito estufa, Brasil sai na frente. O Estado de São Paulo, 08 set. 2002.

HENRIQUES, M. R. (2004). **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica**. Rio de Janeiro, 2004. 190p. Dissertação (Mestrado) – COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2000.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) - ***Intergovernmental Panel on Climate Change***, 1995. *The Science of Climate Change - Summary for Policymakers*, Office Graphics Studio, Madrid.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual (Vol.3)**. 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-ngip.iges.or.jp/public/gl/invs6>. Acesso em 12/12/2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2001: the scientific basis**. HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (Ed.). Cambridge University Press, 2001. 881p.

IPCC, Desechos, Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Cap.V,1996.Disponível:<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpg_aum_es.htm>. Acesso: 7 mar. 2005.

IPT. (1998). Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo. Brasil.

IPT. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. Compromisso Empresarial para Reciclagem -CEMPRE, Publicação IPT 2622, 2 ed., 370p, São Paulo, 2000.

IPT (1995). Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal. 1ª Edição, São Paulo, CEMPRE, 1995, 278p.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995. 278p.

JUCÁ, J. F. T. 2002. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. 10 ° SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga, Portugal – 16 a 19 de Setembro de Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

KÖNIG, D. & JESSEBERG, H. L. (1997). Waste Mechanics, In: ISSMFE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics, p. 35-76.

LIMA, L. M. Q. (1988). **Estudo da Influência da Reciclagem do Chorume na Aceleração da Metanogênese em Aterro Sanitário**. São Paulo, 1988. 230p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

METCALF & EDDY (1991). Wastewater Engineering – Treatment Disposal reuse Ed. McGraw-Hill Publishing.– J.Frerotte, J.P. Ombregt, P. Pipyn. La méthanisation des ordures ménagères. Março, 1982.

MIGUEZ, J. M. O Brasil e o Protocolo de Quioto. **Cenbio Notícias**, v. 3, n. 8, p. 3, 2000.

MILLS, Ian et al. **Quantities, units and symbols in physical chemistry**. Oxford: Blackwell Science Publications. 1993. 166p.

MOSS, H. D. T. The commercial use of landfill gas in the United Kingdom. In: Proceeding of the institution of mechanical engineers. 15-17 april 1991. Dusseldorf. Engineering for profit from waste. European Conference.

MUYLAERT, M. S., (coord.) AMBRAM, R.; CAMPOS, C. P.; MONTEZ, E. M.; OLIVEIRA, L. B.; PEREIRA, A. S.; REIS, M. M. (2000). Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudo de Caso. Rio de Janeiro, Editora da COPPE.

PACEY, J.G. and J. P. DEGIER (1986). **The Factors Influencing Landfill Gas Production**. Presented at Energy from Landfill Gas, sponsored by UK DOE/US DOE, 28-31 October, 1986.

PARK, S.; JOE, K.S.; HAN, S.H. and KIM, H.S. (1999). Characteristics of dissolved organic carbon in the leachate from moonam sanitary landfill. Environ. Tech., v.20, p.419- 424.

PLOUTAKHINA, Marina. Case Study #6: Vega Landfills Assessment, Bahia, Brasil. Technical Report. FI/GLO/ 99/H06/11-51. United Nations Industrial Development Organization. Vienna. 2001.

POHLAND, F.G.; HARPER, S.R.; CHANG, K.C.; DERTIEN, J.T. and CHIAN, E.S.K. (1985). Leachate generation and control at landfill disposal sites. Water Poll. Res. J. Canadá., v.20, n°3, p.10-24.

POHLAND, F.G. and HARPER, S.R. (1986). Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. U.S. Environmental Protection Agency Report N° EPA/600/2-86/073, U.S.A. EPA, Cincinnati, OH 45268.

PROSAB-PROGRAMA DE PESQUISA DE SANEAMENTO BÁSICO. Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem, e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos - SIG para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, p.54, 1999.

RECICLÁVEIS. Brasil poderia gerar até 400 MW com biogás. Notícias e Destaque. Disponível em: www.recicláveis.com.br. Acesso em 2 jan. 2006.

SANT'ANA FILHO, R. Aterro sanitário. In: **Técnicas de tratamento de Lixo Domiciliar Urbano**, 1, 1992, Belo Horizonte. Curso... Belo Horizonte: ABES, 1992. p.13-43.

SENER, **Terms of reference. CERUPT 2001**. The Hague. Sener International, 2001. 47p.

SINCLAIR, J. - **Using today's technology to clean up the planet - Our Planet**, 3(3) (1991), 4-9

SOARES, H.M. 1990. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SPEECE, R.E. (1996). **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Vanderbilt University. Published by Archae Press. United States of America.

TSCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & VINIL, S. **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues**. Irwin MacGraw-Hill. 1993. 978p.

VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. (1994). **Tratamento anaeróbio de esgotos - um manual para regiões de clima quente**. p.208. Editora Eppgraf.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). Department of the Army. Engineering and Design, Landfill off-gas collection and treatment system. Technical Letter n° 1110-1-160. april 1995.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (USDOE). Feasibility Study: Utilization of landfill gas for a vehicle fuel system – Rossmam's Landfill, Clackamas County, Oregon. Assistant secretary, conservation and renewable energy. Office of renewable technology. Washington, D. C. 1983. DOE/RA/50366-1.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills – Background Information for Proposed Standards and Guidelines. Emissions Standards Division. March 1991. EPA-450/3-90-01 1a.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Turning a liability into an asset: A landfill gas-to-energy project development handbook. Sep. 1996 , EPA 430-B-96-0004. 139p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Emission factor documentation for municipal solid waste landfills revised. AP-42 Section 2.4. August, 1997a.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Feasibility assessment for gas-to-energy at selected landfills in São Paulo, Brazil. Public Review Draft. EPA 68-W6-004. January 1997b.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Emerging technologies for the management and utilization of landfill gas. Office of Research and Development. January, 1998. EPA 68-D30035.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Protocolo de Quioto**. 2.ed. Brasília: MCT, 2001. 34p.

WESTLAKE, K., (1990). **Landfill Microbioloy**. Proceedings of the International Conference Landfill Gas: Energy and Environmental 90', Bournemouth, U.K.

WILLUMSEN, H. C. (2001). Energy Recovery from Landfill gas in Denmark and worldwide. LG Consultant.

VEGA Salvador. Reporting pumping trial Landfill Metropolitano Centro Salvador. Nov. 2002. 42p.

ANEXOS – DADOS BRUTOS DAS ANÁLISES

Tabela 24 – Dados brutos de vazão (N.m³/h) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - VAZÃO (N. m³/h)													
CORTES	1			2			3				4		
Data/Poços	172	172A	172C	97	170	170A	99A	160	161	161A	76	74	74E
fev/05			126,28	176,24	37,54	85,40	9,50	44,55	241,43	11,86	9,50	19,00	65,16
mar/05			122,21	152,51	97,30	160,24	89,16	85,21	253,26	19,00	19,00	0,00	0,00
mar/05			150,73	189,13	77,00	183,04	0,00	0,00	179,37	30,84	70,69	81,13	0,00
abr/05		127,54	136,53	144,91	96,20	156,05	39,05	33,21	142,33	19,00	0,00	139,01	18,98
abr/05		59,17	98,16	129,19	55,33	19,00	28,50	23,75	170,32	24,93	27,28	90,95	0,00
mai/05		104,25	99,03	19,00	19,41	144,70	0,00	0,00	52,48	19,00	19,00	26,12	11,87
mai/05		106,75	214,90	28,50	56,99	121,45	19,00	19,00	260,93	18,98	0,00	45,12	14,23
mai/05		97,04	150,99	87,58	97,13	90,85	0,00	31,07	173,73	11,87	14,25	28,50	11,87
jun/05		92,07	78,19	97,69	140,92	0,00	0,00	36,06	127,05	11,87	11,87	14,25	0,00
jul/05		88,90	11,61	101,93	92,71	62,93	0,00	0,00	188,88	0,00	0,00	0,00	19,00
jul/05	96,07	41,51	88,47	90,83	89,55	19,00	0,00	0,00	111,96	23,72	286,15	19,00	0,00
jul/05	82,93	23,72	58,40	88,47	122,50	23,75	18,96	18,98	142,33	19,00	18,98	28,47	0,00
ago/05	188,17	35,62	27,31	112,74	94,76	57,71	18,98	18,94	128,33	11,87	11,87	11,86	0,00
ago/05	158,08	27,04	70,14	72,11	108,40	40,37	20,14	0,00	149,75	19,00	51,18	19,00	11,87
set/05	140,46	45,07	58,14	76,37	119,00	23,75	19,00	23,72	127,95	11,87	19,00	18,98	19,00
set/05	147,16	34,43	39,61	88,57	121,76	21,37	14,23	7,12	65,80	15,44	18,98	21,35	0,00
set/05	118,66	48,15	50,36	86,30	98,11	21,37	18,96	18,98	118,95	7,12	19,00	19,00	18,98
set/05	121,03	69,98	69,03	87,86	122,63	55,98	41,52	14,25	133,97	19,00	19,00	19,00	18,94
out/05	117,72	96,57	62,62	96,62	119,96	17,34	0,00	14,23	181,18	0,00	18,98	21,35	14,25
out/05	123,86	107,58	57,93	95,21	108,98	19,00	18,91	28,20	88,95	14,25	0,00	34,40	0,00
out/05	186,67	36,25	72,74	101,69	68,57	23,98	0,00	14,23	140,04	14,25	18,98	7,12	0,00
nov/05	176,23	125,17	74,64	80,98	96,15	21,37	21,37	19,00	172,41	19,00	7,12	18,94	0,00
nov/05	126,92	85,78	45,54	83,89	90,60	23,75	16,62	16,62	123,42	17,81	19,00	7,12	0,00
nov/05	185,67	78,19	52,90	83,89	116,56	36,10	17,81	18,98	128,24	21,37	19,00	21,37	0,00
dez/05	179,45	88,86	50,00	95,78	98,93	38,23	16,53	16,60	209,97	22,00	19,47	19,00	0,00
dez/05	182,00	88,86	51,00	99,09	102,43	25,14	18,00	20,00	220,56	21,00	12,35	19,24	19,26

Tabela 25 – Continuação dos dados brutos de vazão (N.m³/h) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - VAZÃO (N. m³/h)													
CORTES	5		6			7			8		9		
Data/Poços	176	124	134	135	136B	151	136C	136D	PA18	PA18A	148	138	137B
fev/05	156,59	146,34	291,64	135,76	83,57	204,64	264,89	257,15	32,06	0,00	32,74	71,40	66,66
mar/05	177,17	150,35	270,26	118,20	195,35	198,11	292,81	28,47	0,00	0,00	11,87	51,18	11,87
mar/05	77,62	265,71	293,57	145,31	192,86	187,72	302,20	0,00	21,35	11,87	117,29	11,87	23,75
abr/05	187,11	185,79	217,92	131,54	191,70	198,88	276,43	46,31	39,61	19,00	93,83	42,70	135,83
abr/05	134,62	304,17	295,63	137,26	149,86	169,01	199,77	71,56	0,00	0,00	46,26	96,31	63,34
mai/05	23,75	209,51	194,01	180,48	131,67	77,42	222,03	19,00	19,00	19,00	19,00	11,87	81,93
mai/05	19,00	349,08	182,37	47,34	28,50	47,02	218,13	0,00	19,00	0,00	191,19	23,27	231,74
mai/05	111,60	378,18	323,97	189,60	80,81	55,13	75,67	58,35	0,00	11,87	138,89	82,55	166,16
jun/05	117,85	467,18	306,18	83,66	189,06	117,21	114,66	81,51	7,36	0,00	37,72	0,00	74,96
jul/05	69,74	500,58	232,51	111,55	42,02	109,95	69,35	55,03	42,70	11,87	82,93	0,00	133,73

jul/05	69,27	85,16	246,97	117,50	22,61	117,05	111,49	11,87	38,95	11,87	82,08	26,12	115,63
jul/05	50,94	244,33	200,71	107,78	0,00	98,31	129,42	74,64	18,98	11,86	23,75	18,98	55,33
ago/05	60,49	217,76	178,17	107,11	48,50	106,87	118,90	19,00	21,35	18,98	54,62	23,75	71,16
ago/05	71,09	215,39	162,52	109,55	44,49	103,23	72,59	59,24	21,37	14,23	65,30	23,75	84,21
set/05	141,95	345,38	170,51	110,88	42,02	61,71	127,06	32,50	19,00	0,00	28,47	26,09	83,17
set/05	178,31	506,64	168,46	121,09	20,44	86,68	118,35	75,91	23,75	7,12	24,70	35,58	68,15
set/05	131,03	499,60	188,79	97,75	34,83	52,48	111,25	0,00	23,72	14,23	43,41	31,11	19,00
set/05	142,73	523,87	98,01	103,95	0,00	84,56	85,21	51,00	21,37	19,00	64,05	28,94	56,22
out/05	157,02	542,19	130,37	66,62	14,20	32,99	23,75	80,09	21,37	14,25	28,47	23,75	64,05
out/05	143,91	427,94	122,68	126,94	14,16	49,29	49,00	74,32	21,37	18,98	21,35	35,58	56,69
out/05	123,86	481,62	100,59	98,20	60,70	24,46	34,40	78,75	253,14	200,90	21,35	23,72	54,56
nov/05	115,94	500,38	97,07	90,32	0,00	22,80	33,41	74,64	18,98	16,62	23,75	22,30	63,10
nov/05	132,30	404,23	107,70	87,81	0,00	69,03	28,47	75,35	21,37	16,60	38,19	23,72	120,85
nov/05	120,53	435,95	104,27	97,12	0,00	63,50	47,21	106,87	19,00	0,00	42,46	21,59	97,49
dez/05	175,14	341,33	109,59	96,22	13,20	38,23	43,13	69,43	21,37	14,25	21,61	31,62	99,87
dez/05	157,66	443,51	173,87	106,84	0,00	71,40	58,16	92,41	14,72	14,25	21,37	27,28	78,04

Tabela 26 - Dados brutos de teor de metano (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES – METANO (%)													
CORTES	1			2			3				4		
Data/Poços	172	172A	172C	97	170	170A	99A	160	161	161A	76	74	74E
fev/05			53,00	52,10	61,00	55,00	47,00	58,00	55,00	54,00	39,00	35,00	34,00
mar/05			45,00	49,00	59,80	48,00	58,30	58,00	60,00	52,00	50,00	55,00	60,00
mar/05			50,70	59,10	46,90	52,00	22,40	13,00	46,30	50,00	41,60	60,00	30,20
abr/05		53,80	59,00	47,70	61,30	55,00	52,40	57,20	50,70	46,50	22,50	55,30	13,00
abr/05		44,50	59,40	54,00	31,60	58,70	24,30	33,50	57,40	58,00	62,50	63,30	63,10
mai/05		36,60	36,30	50,90	46,50	52,00	35,00	33,80	58,10	54,20	60,10	42,10	0,00
mai/05		49,00	56,80	51,80	60,20	57,50	55,10	54,00	52,20	49,60	24,60	51,80	42,00
mai/05		57,90	58,80	57,20	52,70	46,60	35,10	52,30	54,30	44,30	51,70	49,30	55,50
jun/05		52,40	53,60	47,40	56,80	42,30	57,50	56,60	52,60	46,10	39,00	31,30	37,70
jul/05	49,50	53,70	42,40	54,50	47,30	53,70	25,80	14,20	57,60	44,00	4,35	55,40	30,00
jul/05	51,50	51,10	50,60	52,00	56,20	51,80	23,30	34,60	48,80	50,20	46,50	54,90	52,30
jul/05	43,60	55,50	51,00	50,20	56,80	53,30	57,40	57,40	55,60	47,90	21,00	35,90	29,90
ago/05	48,00	53,70	47,60	52,30	54,80	45,50	51,00	39,40	53,00	45,00	30,90	55,80	22,00
ago/05	40,50	52,50	48,50	45,50	52,50	47,00	55,70	16,00	49,20	40,40	51,60	46,00	20,00
set/05	45,30	52,60	49,20	51,40	49,20	44,60	55,10	54,80	47,80	41,10	30,60	55,50	56,70
set/05	43,30	54,50	44,40	50,80	50,40	49,40	46,60	30,00	55,60	41,60	52,70	51,80	3,00
set/05	42,20	45,00	52,90	52,00	49,70	48,50	52,80	33,50	46,90	40,40	28,00	55,10	10,00
set/05	49,00	49,40	48,30	50,90	49,00	50,60	54,80	18,50	55,60	45,00	40,00	51,80	48,00
out/05	51,30	44,50	48,10	47,00	52,30	51,90	22,20	49,20	53,70	34,90	52,30	54,10	58,60
out/05	55,60	44,50	42,40	48,80	56,50	50,50	55,00	56,80	43,70	43,00	19,00	33,80	44,00
out/05	52,60	54,10	49,30	48,70	55,00	53,30	25,20	54,30	57,50	41,20	40,10	47,70	26,40
nov/05	51,70	44,80	55,90	47,70	46,70	50,80	52,80	52,60	51,30	43,20	44,40	21,60	20,00
nov/05	51,90	51,60	52,80	47,10	46,80	44,40	37,60	31,60	50,80	40,80	48,80	47,70	30,00
nov/05	51,90	50,00	47,80	44,90	50,30	48,00	44,50	42,00	48,80	55,00	50,80	31,90	15,40
dez/05	47,00	48,00	48,00	49,30	50,10	48,70	29,60	21,70	50,00	33,40	30,20	40,10	11,00
dez/05	52,00	48,00	48,00	49,40	47,40	41,80	45,80	39,10	50,70	42,00	40,00	31,50	10,00

Tabela 27 – Continuação dos dados brutos de teor de metano (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES – METANO (%)													
CORTES	5		6			7			8		9		
Data/Poços	176	124	134	135	136B	151	136C	136D	PA18	PA18A	148	138	137B
fev/05	57,50	57,00	58,00	61,00	62,00	61,00	62,00	55,00	59,00	24,00	48,00	56,60	45,00
mar/05	55,00	60,00	58,00	57,00	56,00	59,00	58,00	58,00	26,00	20,00	45,00	43,00	42,00
mar/05	56,10	59,90	55,30	57,60	57,00	58,20	58,90	29,50	58,70	30,60	52,30	55,70	61,70
abr/05	57,60	62,70	57,60	58,60	48,80	59,00	59,20	58,80	40,20	58,20	55,20	56,30	66,20
abr/05	52,30	55,20	50,00	53,60	54,10	51,50	53,50	54,00	35,80	24,30	46,70	36,60	46,50
mai/05	44,30	43,10	38,60	48,60	53,20	53,50	50,40	49,10	50,30	31,70	48,60	50,60	53,00
mai/05	47,80	53,00	50,70	48,80	51,30	38,20	49,20	35,20	50,10	34,00	56,80	57,50	55,30
mai/05	56,50	51,10	51,50	53,50	52,30	43,30	48,70	59,60	51,00	44,80	59,80	56,00	61,00
jun/05	54,50	53,20	53,70	53,30	53,80	52,50	52,40	53,50	42,00	28,80	53,10	32,20	54,30
jul/05	52,20	47,30	33,50	55,10	50,20	51,00	47,70	50,50	49,40	28,50	55,20	56,50	58,20
jul/05	51,40	56,10	49,60	53,50	40,10	50,50	50,50	45,00	49,50	28,30	46,30	52,50	54,40
jul/05	53,00	51,00	48,00	51,50	55,70	47,50	54,50	58,00	34,40	26,30	56,90	36,70	58,00
ago/05	54,00	53,70	48,80	52,10	52,10	54,30	50,70	46,50	53,20	53,50	55,00	54,10	58,00
ago/05	47,50	54,40	50,30	52,10	50,40	23,10	51,40	53,70	46,20	51,40	53,00	44,50	53,40
set/05	51,60	52,00	48,20	50,10	49,00	54,80	53,60	47,60	35,00	26,80	51,60	56,00	55,60
set/05	53,00	57,30	47,80	50,70	51,70	51,10	53,50	55,20	42,40	30,30	53,00	48,40	49,20
set/05	49,60	54,80	45,50	50,00	31,00	54,20	51,50	25,10	42,60	54,80	54,30	44,90	47,30
set/05	41,00	55,00	48,80	51,80	49,00	56,30	49,00	57,50	50,70	32,40	54,50	51,70	56,40
out/05	53,80	55,40	50,40	52,10	27,00	48,10	44,90	56,30	52,60	25,30	44,80	44,60	54,70
out/05	49,70	54,30	50,20	49,20	38,40	44,30	49,40	51,90	50,70	55,00	56,70	47,00	50,80
out/05	47,80	49,80	49,60	50,10	14,70	56,10	52,10	50,80	53,90	29,50	49,40	49,60	58,70
nov/05	53,90	55,50	49,60	50,50	31,20	52,30	48,00	50,60	51,40	37,40	52,80	53,00	57,30
nov/05	50,90	51,90	50,40	51,60	33,90	50,60	52,70	53,00	51,70	28,70	49,40	47,60	52,60
nov/05	49,10	52,50	45,70	50,60	33,60	55,00	51,20	55,70	47,30	25,10	47,30	43,30	48,10
dez/05	50,70	53,80	48,50	51,10	29,30	54,60	50,00	50,10	51,20	29,70	48,50	42,90	49,30
dez/05	50,30	54,00	45,40	52,40	26,40	54,00	52,10	52,10	41,40	42,10	48,70	40,40	51,30

Tabela 28 – Dados brutos de teor de oxigênio (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - OXIGÊNIO (%)													
CORTES	1			2			3				4		
Data/Poços	172	172A	172C	97	170	170A	99A	160	161	161A	76	74	74E
fev/05			0,60	1,00	0,00	0,00	2,00	0,00	1,00	0,00	0,40	7,00	2,00
mar/05			0,30	1,50	0,30	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	0,00
mar/05			0,70	0,30	1,40	0,70	6,30	7,00	2,80	0,00	0,40	0,30	3,00
abr/05			0,20	1,40	0,00	0,50	0,30	0,00	0,70	0,40	5,30	0,00	11,00
abr/05		0,70	0,00	0,50	7,50	0,00	10,40	3,70	0,50	0,10	0,10	0,20	0,20
mai/05		1,20	5,10	0,00	1,40	0,40	5,00	2,50	0,00	0,00	0,00	3,80	0,00
mai/05		2,80	0,30	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	4,10	0,20	0,50
mai/05		0,70	0,10	0,00	0,00	0,90	3,60	0,00	0,00	1,20	0,00	0,40	0,00
jun/05		0,10	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,10	0,00	0,20	0,00	4,80	0,40
jul/05		0,00	1,80	0,00	1,30	0,00	9,60	11,90	0,20	2,40	2,40	0,00	15,30

jul/05	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	3,90	1,30	0,00	0,00	1,50	0,90
jul/05	0,00	0,00	1,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	4,00	2,90	2,00
ago/05	0,50	0,00	1,30	0,00	0,00	1,80	0,00	0,10	1,00	2,00	1,80	0,00	8,20
ago/05	0,40	0,00	0,30	0,60	0,00	1,30	0,00	10,00	0,00	1,40	0,00	0,50	15,00
set/05	1,50	0,00	1,40	0,00	1,00	1,80	0,00	0,00	2,10	1,90	0,00	0,00	0,00
set/05	0,40	0,80	1,60	0,00	1,10	1,00	1,60	4,20	0,00	1,80	0,00	0,10	18,00
set/05	0,20	0,00	0,00	0,10	1,30	1,40	0,00	3,80	2,10	2,40	0,70	0,00	10,90
set/05	1,20	3,00	1,30	0,20	0,50	0,00	0,00	9,40	0,20	1,10	0,50	0,40	1,50
out/05	0,00	1,20	1,40	0,40	0,00	0,00	10,50	0,50	0,20	3,00	0,20	0,10	0,10
out/05	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	2,80	1,40	4,30	3,60	0,00
out/05	0,00	0,00	1,20	0,80	0,00	0,00	13,10	0,00	0,00	1,40	0,00	0,10	7,10
nov/05	0,10	0,00	0,00	0,40	0,60	0,00	0,00	0,00	0,30	0,90	0,20	8,30	9,00
nov/05	0,00	1,20	0,70	0,40	0,40	0,40	3,40	3,50	0,00	1,10	0,00	0,10	10,00
nov/05	0,00	0,10	1,10	0,30	0,80	1,00	1,50	0,70	0,50	0,00	0,00	3,30	0,00
dez/05	0,00	0,00	1,50	0,40	1,20	1,00	4,80	7,10	0,50	3,80	1,20	1,80	4,70
dez/05	0,00	1,00	1,50	0,70	1,30	2,70	1,40	1,40	0,80	1,00	3,50	4,80	16,50

Tabela 29 – Continuação dos dados brutos de teor de oxigênio (%) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - OXIGÊNIO (%)													
CORTES	5		6			7			8		9		
Data/Poços	176	124	134	135	136B	151	136C	136D	PA18	PA18A	148	138	137B
fev/05	0,20	0,50	0,40	0,30	0,00	0,30	0,20	2,00	0,00	3,60	1,70	0,30	1,20
mar/05	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	4,10	1,00	0,00	2,50
mar/05	1,10	0,10	0,70	0,50	0,80	0,40	0,10	8,70	0,00	3,30	1,30	0,00	0,00
abr/05	1,40	0,10	0,60	0,70	2,40	0,80	0,60	0,20	1,50	0,00	1,30	0,00	0,00
abr/05	1,00	0,90	0,90	0,50	0,00	1,20	0,10	0,00	2,40	4,10	1,80	2,40	1,60
mai/05	2,70	3,30	4,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,10	0,20	0,00	0,00
mai/05	1,60	0,40	0,00	0,40	0,00	1,10	0,50	2,00	0,20	2,00	0,00	0,00	0,00
mai/05	0,00	0,80	1,30	0,70	0,50	3,00	2,00	0,20	1,30	0,90	0,30	4,10	0,60
jun/05	0,00	0,40	0,30	0,40	0,00	0,50	0,50	0,40	0,30	1,70	0,00	3,00	0,00
jul/05	0,40	2,50	6,10	0,00	0,00	0,90	1,70	0,90	0,00	1,30	0,00	0,30	0,30
jul/05	1,00	0,20	1,50	0,50	2,70	0,90	1,00	2,60	0,00	2,50	0,40	0,00	0,00
jul/05	0,90	2,30	1,50	0,70	0,00	2,30	0,60	0,00	3,80	5,00	0,00	3,50	0,00
ago/05	0,40	1,00	1,00	0,60	0,10	0,20	0,80	1,80	0,20	0,30	0,00	0,00	0,00
ago/05	1,40	0,50	1,20	0,90	0,60	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	1,10	0,60
set/05	0,80	1,80	1,30	0,90	0,50	0,00	0,00	1,40	2,10	2,90	0,00	0,00	0,10
set/05	0,70	0,30	2,10	1,50	0,70	1,10	0,40	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00
set/05	0,90	0,00	1,50	1,00	7,00	0,00	0,40	8,80	0,50	0,00	0,00	0,20	1,90
set/05	5,00	1,00	1,00	0,60	2,00	0,20	2,10	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,10
out/05	0,00	0,50	0,40	0,60	9,30	1,80	3,00	0,00	0,00	3,10	2,00	0,50	0,10
out/05	1,60	0,90	0,30	1,50	3,60	1,30	0,00	0,90	0,10	0,00	0,00	0,90	1,00
out/05	1,30	0,90	0,00	0,50	10,60	0,00	0,00	1,20	0,00	2,20	1,30	0,20	0,00
nov/05	0,00	0,40	1,00	0,00	5,80	0,00	0,00	0,20	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00
nov/05	0,10	0,40	0,20	0,00	4,30	0,00	0,00	0,80	0,00	0,30	1,00	0,70	0,70
nov/05	0,80	0,90	1,80	0,40	5,00	0,00	0,10	0,10	0,40	8,60	1,80	1,40	1,90
dez/05	1,00	0,90	0,50	1,00	6,90	0,20	0,40	1,70	0,00	2,30	1,70	1,50	1,50
dez/05	0,00	0,00	1,00	0,30	6,40	0,00	0,30	1,00	0,00	0,00	1,60	2,10	0,30

Tabela 30 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - PRESSÃO (mBar)													
CORTES	1			2			3				4		
Data/Poços	172	172A	172C	97	170	170A	99A	160	161	161A	76	74	74E
fev/05			-14,00	-18,00	-5,70	-0,80	0,00	-2,00	-3,00	-0,30	0,00	0,00	0,00
mar/05			-6,00	-11,00	-11,00	-3,00	-11,00	-3,00	-3,00	0,00	0,00	-0,50	-2,00
mar/05			-16,00	-12,00	-16,00	-5,00	0,00	0,00	-2,00	-0,70	-0,80	-0,50	0,00
abr/05		-5,00	-8,00	-13,00	-16,00	-4,00	-3,00	-1,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
abr/05		-3,00	-8,00	-10,00	-11,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	-0,80	0,00	-0,40
mai/05		0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/05		-0,40	-15,00	-5,00	-22,00	-1,00	0,30	0,00	-0,80	-0,80	0,00	0,00	0,00
mai/05		-3,00	-20,00	-3,00	1,00	-0,90	0,00	-0,50	-3,00	0,00	0,00	0,00	-0,20
jun/05		-2,50	-1,80	-7,20	-10,90	0,00	-3,40	-0,40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/05	-0,40	-4,00	-20,00	-7,50	-22,00	0,00	0,00	0,00	-3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/05	-2,00	-1,00	-25,00	-6,00	-12,50	0,70	0,00	0,00	-0,30	-0,40	0,00	-0,20	0,00
jul/05	-11,00	-0,50	-15,00	-5,70	-6,80	0,00	-2,00	-0,80	-0,70	0,00	-1,00	-1,00	0,00
ago/05	-9,70	0,00	0,30	-10,00	-16,00	0,00	-0,40	-2,60	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/05	-10,00	-1,00	-1,50	-7,00	-8,50	0,00	-1,60	0,00	-1,50	0,50	-1,20	-0,10	0,00
set/05	-15,00	-0,70	-19,00	-4,00	-11,00	0,40	0,00	-0,40	-1,40	0,40	0,00	-0,60	0,00
set/05	-15,00	0,00	-0,40	-4,70	-16,00	0,00	-0,10	0,00	-3,00	0,00	-0,20	0,00	0,00
set/05	-5,20	-0,80	-4,00	-3,20	-3,50	0,40	-1,20	-0,30	-2,00	0,80	0,00	0,00	0,00
set/05	-6,00	-0,10	-0,40	-4,40	-14,70	-0,50	-5,40	0,10	-2,70	0,20	0,00	-0,10	-0,01
out/05	-6,00	-2,70	-0,40	-7,00	-14,80	0,50	0,00	-0,30	-5,40	0,00	-0,80	-0,40	-2,20
out/05	-7,80	-4,00	-4,00	-6,90	-13,30	0,10	-3,80	-1,20	-0,50	0,50	0,00	0,60	0,00
out/05	-5,50	-2,00	-1,80	-7,30	-11,60	0,00	0,00	-0,30	-2,00	0,30	-0,30	-3,00	0,00
nov/05	-6,00	-4,80	-2,00	-8,00	-3,60	0,40	0,00	0,00	-4,80	0,25	0,00	0,00	0,00
nov/05	-5,70	-1,50	-0,10	-6,50	-17,90	0,10	0,00	0,00	-3,50	0,50	0,00	0,00	0,00
nov/05	-5,70	-2,00	-1,00	-6,80	-13,00	0,20	0,00	-0,30	-4,95	0,00	0,00	0,00	0,00
dez/05	-8,90	-1,40	-1,20	-6,00	-14,50	0,20	-4,30	-0,10	-6,00	0,00	0,00	0,00	0,00
dez/05	-5,00	-1,40	-1,20	-5,10	-15,30	-0,20	-0,50	0,00	-9,60	0,00	0,10	0,00	0,00

Tabela 31 – Continuação dos dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de cortes.

CORTES - PRESSÃO (mBar)													
CORTES	5		6			7			8		9		
Data/Poços	176	124	134	135	136B	151	136C	136D	PA18	PA18A	148	138	137B
fev/05	-5,00	-7,00	-11,00	-10,00	-19,00	-17,00	-11,00	-11,00	0,00	0,00	-0,70	-2,00	-0,30
mar/05	-6,00	-9,00	-15,00	-15,00	-23,00	-17,00	-11,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mar/05	-6,00	-10,00	-13,00	-12,00	-23,00	-21,00	-11,00	0,00	-1,00	0,00	-2,00	-1,00	0,00
abr/05	-7,00	-10,00	-17,00	-18,00	-24,00	-24,00	-20,00	0,00	-0,50	0,00	-2,00	-0,80	0,20
abr/05	-5,00	-8,00	-11,00	-11,00	-25,00	-23,00	-20,00	-2,00	0,00	0,00	-0,50	0,00	-0,30
mai/05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/05	1,80	-15,00	-13,00	-3,00	-42,50	0,10	-19,50	0,00	0,50	0,00	-10,00	-0,50	-1,20
mai/05	-4,00	-15,00	-17,00	-12,00	-51,00	-15,00	-1,00	-0,20	0,00	0,00	-8,00	0,00	-3,00
jun/05	-5,00	-15,00	-3,20	-6,60	-54,00	-10,00	-5,20	-2,00	0,00	0,00	-0,20	0,00	-0,50
jul/05	-1,00	-0,20	-11,00	-26,50	-43,40	-1,70	-2,40	-0,50	-1,00	0,00	-1,20	0,00	-3,00

jul/05	-1,00	-0,80	-19,00	-36,00	0,00	-13,00	-56,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	-0,10	-2,00
jul/05	-1,10	-0,90	-20,60	-39,00	-57,50	0,00	-5,00	-1,30	-0,50	-0,30	0,00	0,00	0,00
ago/05	-1,00	-1,00	-20,00	-37,00	-58,00	-13,50	-6,00	0,00	-0,30	-0,20	0,00	0,00	-0,40
ago/05	-2,00	-1,00	-14,00	-32,00	-63,00	-11,00	-3,60	-1,20	0,00	-0,30	0,00	-0,20	-0,90
set/05	-8,00	-20,00	-20,00	-35,60	-39,50	-4,00	-4,20	-0,10	0,00	0,00	-0,20	-0,30	-1,70
set/05	-10,10	-7,00	-10,60	-43,00	-37,40	-4,30	-2,50	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/05	-6,50	-6,80	-16,50	-32,80	0,00	0,20	-2,80	0,00	-0,30	-0,20	-0,30	-0,20	0,00
set/05	-6,00	-13,00	-18,00	-28,60	-3,00	-9,10	-2,30	-0,30	0,10	0,00	-0,50	0,00	-0,90
out/05	-11,90	-13,50	-4,20	-32,20	-5,20	-6,70	0,30	-1,60	0,00	0,00	-0,70	-0,90	-0,70
out/05	-8,20	-11,30	-5,20	-28,20	-12,00	-1,20	-2,50	-2,20	0,00	-0,20	-0,80	-0,30	-0,30
out/05	-5,90	-9,00	-2,80	-28,90	0,00	0,40	-0,80	-1,00	0,00	0,00	-0,50	-0,70	-0,10
nov/05	-7,00	-10,00	-4,20	-24,60	0,00	2,20	-1,30	-1,40	-0,10	0,00	0,00	-0,20	-0,70
nov/05	-8,00	-9,00	-2,30	-26,70	0,00	-0,20	-0,80	-1,30	0,20	-0,10	-0,40	-0,50	-1,60
nov/05	-8,00	-7,80	-4,00	-22,00	-6,70	-1,70	-0,80	-2,00	0,00	0,00	-0,20	-0,50	-1,00
dez/05	-8,00	-6,30	-4,40	-25,60	0,00	0,50	-1,70	-1,30	0,10	0,10	0,00	-1,00	-1,00
dez/05	-7,00	-5,00	-6,00	-23,10	-7,70	-9,30	-4,00	-1,20	0,00	0,00	0,00	-0,30	-0,40

Tabela 32 – Dados brutos de vazão (N.m³/h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço 123		Poço 134B		Poço 5A	
Data	Vazão (N.m³/h)	Data	Vazão (N.m³/h)	Data	Vazão (N.m³/h)
Set	73,55	set	27,37	set	73,59
Set	85,53	set	37,63	set	53,03
Set	70,82	set	27,37	set	55,42
Set	100,92	set	27,37	set	52,00
Set	96,13	set	17,11	set	47,90
Set	76,98	set	11,97	set	58,50
Set	76,63	set	13,34	set	60,55
Set	86,56	set	29,08	set	69,79
Set	63,29	set	31,47	set	63,29
Set	78,00	set	37,63	set	49,61
Set	92,37	set	27,37	set	60,90
Out	57,48	set	18,82	set	68,08
Out	49,61	set	22,92	set	58,16
Out	61,58	set	27,37	set	58,16
Out	66,71	set	25,66	set	44,48
Out	54,74	set	27,37	set	40,37
Out	78,69	out	27,37	set	42,76
Out	86,56	out	27,37	set	58,50
Out	83,82	out	27,37	out	24,63
Out	82,11	out	27,37	out	56,45
Out	83,82	out	30,11	out	62,61
Out	87,24	out	27,37	out	44,48
Out	76,29	out	27,37		
Out	68,42	out	31,47		
Out	71,84	out	34,55		

	out	27,37	
	out	27,37	

Tabela 33 – Dados brutos de teor de oxigênio (%) e metano (%) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço 123			Poço 134B			Poço 5A		
Data	CH4 (%)	O2 (%)	Data	CH4 (%)	O2 (%)	Data	CH4 (%)	O2 (%)
Set	55,60	0,00	set	57,10	0,00	set	54,80	0,00
Set	55,10	0,10	set	57,00	0,10	set	57,40	0,10
Set	57,80	0,00	set	58,00	0,00	set	58,20	0,30
Set	53,80	0,00	set	58,20	0,20	set	57,00	0,00
Set	56,80	0,00	set	59,20	0,40	set	57,20	0,00
Set	58,00	0,00	set	58,50	0,30	set	57,90	0,20
Set	58,00	0,10	set	56,20	0,30	set	58,40	0,30
Set	56,20	0,00	set	56,50	0,30	set	58,10	0,20
Set	58,50	0,00	set	57,30	0,00	set	57,10	0,10
set	56,30	0,10	set	57,50	0,00	set	58,50	0,20
set	56,10	0,00	set	59,10	0,00	set	63,30	0,20
out	57,20	0,00	set	58,50	0,20	set	56,90	0,20
out	57,10	0,10	set	54,70	0,00	set	57,80	0,00
out	57,70	0,20	set	60,10	0,00	set	58,40	0,10
out	57,00	0,10	set	58,30	0,20	set	55,30	0,00
out	56,20	0,00	set	57,00	0,00	set	59,30	0,00
out	56,30	0,10	out	59,10	0,00	set	58,00	0,30
out	56,70	0,00	out	56,80	0,00	set	57,50	0,00
out	56,50	0,10	out	59,10	0,20	out	56,40	0,00
out	57,50	0,00	out	58,60	0,20	out	57,80	0,00
out	57,30	0,10	out	58,20	0,20	out	57,00	0,00
out	57,40	0,00	out	58,00	0,00	out	56,00	0,00
out	58,50	0,00	out	57,60	0,00			
out	58,20	0,00	out	55,90	0,00			
out	58,80	0,00	out	59,40	0,00			
			out	58,70	0,00			
			out	58,20	0,00			

Tabela 34 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração passiva.

Poço 123		Poço 134B		Poço 5A	
Data	Pressão (mBar)	Data	Pressão (mBar)	Data	Pressão (mBar)
set	0,30	set	0,00	set	0,00
set	0,20	set	0,10	set	0,10
set	0,50	set	0,00	set	-0,20

set	0,00	set	0,00	set	0,00
set	0,30	set	0,00	set	0,00
set	0,20	set	-0,30	set	0,20
set	0,50	set	0,30	set	0,50
set	0,00	set	0,00	set	0,20
set	0,20	set	0,20	set	0,30
set	0,20	set	0,00	set	0,30
set	0,00	set	0,00	set	0,00
out	0,00	set	-0,20	set	0,00
out	0,40	set	0,20	set	0,20
out	0,10	set	-0,20	set	0,00
out	0,40	set	-0,10	set	0,00
out	0,40	set	0,00	set	0,10
out	0,30	out	0,00	set	0,00
out	0,20	out	0,00	set	0,20
out	0,20	out	0,00	out	0,20
out	-0,30	out	0,00	out	0,10
out	0,20	out	-0,10	out	0,00
out	0,20	out	0,00	out	0,00
out	0,30	out	0,40		
out	0,20	out	0,40		
out	0,00	out	0,00		
		out	0,20		
		out	-0,30		

Tabela 35 – Dados brutos de vazão (N.m³/h) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

Poço 123		Poço 134B		Poço 5A	
Data	Vazão (N.m ³ /h)	Data	Vazão (N.m ³ /h)	Data	Vazão (N.m ³ /h)
nov	179,97	nov	322,48	nov	237,61
nov	211,21	nov	295,77	nov	274,53
nov	220,64	nov	319,66	nov	314,03
nov	180,84	nov	250,41	nov	235,76
nov	175,19	nov	254,66	nov	266,81
nov	166,17	nov	229,65	nov	260,52
nov	210,77	nov	299,60	nov	326,69
nov	167,08	nov	245,45	nov	262,91
nov	228,61	nov	288,88	nov	335,06
nov	176,03	nov	253,69	nov	258,35
nov	216,85	nov	310,71	nov	336,30
dez	170,90	dez	241,71	dez	260,53
dez	176,73	dez	291,19	dez	321,22
dez	220,19	dez	294,19	dez	349,86
dez	232,73	dez	316,95	dez	341,29
dez	218,37	dez	320,33	dez	359,07

dez	225,82	dez	301,90	dez	351,65
dez	229,50	dez	263,74	dez	345,87
dez	252,23	dez	142,39	dez	360,02
dez	223,48	dez	143,82	dez	367,35
dez	245,15	dez	107,42	dez	343,37
dez	224,85	dez	129,09	dez	345,19
dez	219,69	dez	115,78	dez	314,42
dez	218,66	dez	146,00	dez	341,49
dez	212,36	dez	165,94	dez	306,54
dez	237,27	dez	325,70	dez	334,13
dez	191,19	dez	149,44	dez	325,84
dez	270,47	dez	157,04	dez	313,71
dez	261,32	dez	177,05	dez	317,40
dez	227,77	dez	167,01	dez	300,72
jan	227,08	jan	173,48	jan	263,37
jan	218,10	jan	205,26	jan	310,97
jan	237,30	jan	240,04	jan	269,55
jan	169,53	jan	225,50	jan	338,38
jan	185,63	jan	241,00	jan	325,47
jan	218,59	jan	254,15	jan	345,12
jan	185,17	jan	224,57	jan	323,85
jan	171,77	jan	195,42	jan	270,99
jan	125,47	jan	190,61	jan	257,54
jan	195,09	jan	195,03	jan	263,59
jan	195,09	jan	195,03	jan	263,59
jan	216,63	jan	182,83	jan	249,21
jan	108,30	jan	85,37	jan	245,90
jan	239,63	jan	207,59	jan	258,25
jan	195,55	jan	172,29	jan	168,26
jan	223,44	jan	151,72	jan	191,01
jan	249,16	jan	233,66	jan	221,54
jan	214,81	jan	227,80	jan	210,08

Tabela 36 – Dados brutos do teor de oxigênio (%) e metano (%) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

123			135B			5A		
Data	CH4 (%)	O2 (%)	Data	CH4 (%)	O2 (%)	Data	CH4 (%)	O2 (%)
Nov	55,00	0,00	nov	55,10	0,00	nov	55,00	0,00
nov	50,50	0,00	nov	48,50	0,20	nov	49,50	0,00
nov	56,10	0,00	nov	52,40	1,40	nov	55,20	0,40
nov	58,10	0,00	nov	54,60	0,20	nov	54,10	0,00
nov	57,20	0,00	nov	55,70	0,40	nov	55,40	0,60
nov	54,00	0,00	nov	53,80	0,40	nov	51,60	1,10
nov	54,50	0,00	nov	54,30	0,40	nov	53,80	0,70
nov	58,20	0,30	nov	54,20	0,80	nov	55,40	0,20

nov	56,00	0,10	nov	50,70	1,40	nov	51,20	1,70
nov	55,30	0,00	nov	51,00	0,30	nov	50,20	0,50
nov	57,40	0,00	nov	55,00	0,40	nov	53,00	1,40
dez	55,50	0,00	dez	51,20	0,90	dez	52,40	0,90
dez	55,00	0,00	dez	54,40	0,90	dez	53,40	1,30
dez	56,00	0,00	dez	48,80	2,40	dez	54,00	1,10
dez	54,40	0,10	dez	49,50	1,80	dez	52,80	0,90
dez	55,70	0,00	dez	47,90	2,00	dez	52,20	1,00
dez	56,00	0,00	dez	47,80	2,40	dez	52,40	1,00
dez	54,20	0,00	dez	43,60	2,70	dez	51,10	1,10
dez	55,30	0,00	dez	49,20	1,90	dez	53,40	1,00
dez	54,10	0,00	dez	50,60	0,40	dez	50,90	0,90
dez	57,60	0,10	dez	51,80	2,10	dez	53,40	1,00
dez	56,10	0,00	dez	56,50	0,60	dez	54,80	1,40
dez	55,00	0,00	dez	56,90	0,10	dez	53,40	1,10
dez	56,20	0,10	dez	57,00	0,20	dez	53,40	1,20
dez	55,70	0,10	dez	57,10	0,20	dez	52,00	1,80
dez	55,50	0,10	dez	52,80	0,90	dez	50,60	2,10
dez	57,00	0,30	dez	51,50	1,00	dez	54,00	1,00
dez	58,50	0,50	dez	50,40	1,50	dez	49,00	1,30
dez	55,30	0,10	dez	48,80	1,80	dez	49,00	2,00
dez	54,70	0,00	dez	53,10	0,60	dez	51,00	1,50
jan	58,80	0,00	jan	57,30	0,20	jan	55,70	0,40
jan	57,40	0,00	jan	58,40	0,00	jan	56,70	0,40
jan	57,60	0,00	jan	55,60	0,10	jan	56,20	0,10
jan	56,50	0,00	jan	54,00	0,70	jan	56,70	0,10
jan	55,40	0,10	jan	50,20	1,40	jan	54,00	1,00
jan	54,60	0,10	jan	48,10	1,90	jan	52,60	1,00
jan	55,30	0,00	jan	49,20	1,70	jan	50,30	1,80
jan	56,10	0,00	jan	48,40	1,40	jan	48,30	2,00
jan	53,40	0,00	jan	47,70	1,30	jan	45,10	2,80
jan	55,70	0,00	jan	49,50	1,30	jan	47,00	2,60
jan	55,70	0,00	jan	49,50	1,30	jan	47,00	2,60
jan	55,40	0,00	jan	47,50	1,30	jan	48,20	1,50
jan	54,40	0,00	jan	52,50	0,20	jan	50,80	0,60
jan	56,00	0,00	jan	46,80	1,80	jan	48,70	1,70
jan	57,60	0,00	jan	54,70	0,10	jan	49,00	2,10
jan	56,00	0,00	jan	48,50	1,60	jan	54,70	0,40
jan	58,00	0,00	jan	54,70	0,20	jan	54,80	0,30
jan	54,60	0,00	jan	51,00	0,50	jan	53,00	0,40

Tabela 37 – Dados brutos de pressão (mbar) dos poços de extração estudados na análise de poços com extração ativa.

Poço 123		Poço 134B		Poço 5A	
Data	Pressão (mBar)	Data	Pressão (mBar)	Data	Pressão (mBar)
nov	-9,00	nov	-9,70	nov	-12,80
nov	-9,00	nov	-10,50	nov	-19,50
nov	-10,00	nov	-11,40	nov	-22,90
nov	-10,30	nov	-11,00	nov	-21,30
nov	-10,30	nov	-10,10	nov	-25,70
nov	-8,20	nov	-9,60	nov	-26,80
nov	-7,00	nov	-9,70	nov	-25,00
nov	-9,40	nov	-10,40	nov	-26,40
nov	-7,20	nov	-10,00	nov	-23,00
nov	-7,50	nov	-9,50	nov	-25,30
nov	-4,00	nov	-9,60	nov	-28,00
dez	-10,60	dez	-10,00	dez	-27,20
dez	-8,00	dez	-9,80	dez	-29,00
dez	-7,60	dez	-10,00	dez	-27,80
dez	-8,70	dez	-9,70	dez	-28,70
dez	-9,70	dez	-10,00	dez	-28,30
dez	-10,20	dez	-9,50	dez	-31,80
dez	-6,50	dez	-7,40	dez	-28,00
dez	-4,50	dez	-2,10	dez	-25,50
dez	-4,50	dez	-2,60	dez	-26,50
dez	-8,00	dez	-1,20	dez	-27,60
dez	-5,50	dez	-2,20	dez	-26,50
dez	-5,00	dez	-2,20	dez	-24,50
dez	-8,20	dez	-3,50	dez	-25,50
dez	-8,00	dez	-4,50	dez	-26,10
dez	-8,60	dez	-4,30	dez	-25,20
dez	-7,70	dez	-3,80	dez	-24,90
dez	-9,40	dez	-3,20	dez	-24,00
dez	-8,60	dez	-3,50	dez	-19,50
dez	-8,70	dez	-4,00	dez	-20,50
jan	-11,20	jan	-4,70	jan	-22,50
jan	-12,00	jan	-6,00	jan	-26,30
jan	-12,90	jan	-7,20	jan	-26,50
jan	-10,00	jan	-6,70	jan	-26,50
jan	-10,10	jan	-8,50	jan	-26,00
jan	-8,20	jan	-6,80	jan	-24,30
jan	-0,80	jan	-6,70	jan	-27,50
jan	-8,70	jan	-5,70	jan	-23,70
jan	-8,30	jan	-6,70	jan	-23,20
jan	-8,80	jan	-7,10	jan	-23,10
jan	-8,80	jan	-7,10	jan	-23,10

jan	-9,00	jan	-5,90	jan	-20,00
jan	-7,20	jan	-5,20	jan	-16,00
jan	-10,50	jan	-5,10	jan	-14,70
jan	-7,40	jan	-6,00	jan	-9,80
jan	-12,10	jan	-3,50	jan	-10,20
jan	-9,30	jan	-6,70	jan	-9,70
jan	-10,00	jan	-7,60	jan	-13,40

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)