

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
USP

Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da
Universidade de São Paulo

APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS –
ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS BENEFICIANDO ASPECTOS
AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

Rodrigo Chimenti Cabral

São Paulo
2009

RODRIGO CHIMENTI CABRAL

APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS –
ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS BENEFICIANDO ASPECTOS
AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

Monografia apresentada no Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do IEE-USP.

Orientação: Prof.^a Dr.^a. Maria Silvia Romitelli.

São Paulo
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO.

Cabral, Rodrigo Chimenti Cabral.

Aproveitamento do biogás em aterros sanitários: especificações construtivas beneficiando aspectos ambientais e energéticos/Rodrigo Chimenti Cabral; orientador Dra. Maria Silvia Romitelli. – São Paulo, 2009.

138p.. Il.; 30 cm.

Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia) IEE da Universidade de São Paulo.

1. Biogás. 2. Aterros Sanitários. 3. Meio Ambiente. Energia. I. Aproveitamento do biogás em aterros sanitários: especificações construtivas beneficiando aspectos ambientais e energéticos.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Venho a agradecer primeiramente ao Engenheiro do Aterro Sanitário Lara, Francisco Molnar, por todas as explicações sobre resíduos sólidos, sendo um ícone no conhecimento de Aterros Sanitários além de ser um exemplo de vida para os profissionais do ramo.

À orientadora Dra. Maria Silvia Romitelli por toda a compreensão das dificuldades encontradas para elaboração deste trabalho com dedicação e paciência única.

Ao Diretor da Lara Energia, Wagner Damo, por acreditar e confiar no trabalho executado pelo autor.

Ao Diretor da Lara Energia, René Bucher, por acompanhar os trabalhos desenvolvidos.

À Diretora Ambiental Yara, por ter aceitado a inclusão do autor como Gerente Técnico na Lara Energia e sempre confiar nos trabalhos desenvolvidos.

Ao Gerente Administrativa Priscila Bouchi por gerenciar administrativamente a Lara Energia e pelas informações fornecidas neste trabalho.

À Gerente Técnica de Efluentes líquidos Zenaide, por colaborar com informações técnicas a este trabalho.

Faço um agradecimento em especial ao Engenheiro Afonso Pazin, Gerente Técnico da Terrestre Ambiental, por todo o material fornecido a este trabalho e além de um grande profissional, uma pessoa especial por ter fornecido a oportunidade de um recém profissional, colaborar na execução dos serviços com muito respeito e ética profissional.

Ao Diretor Cid D'Angelo da empresa CDR-Resíduos, por ter fornecido a primeira oportunidade para desenvolver o trabalho no Aterro Sanitário.

À José Danielleto por ter elaborado um material único.

Ao Sr. Euler da empresa Clean, por ter reconhecido o trabalho desenvolvido.

Ao Engenheiro Dimas da TCA por ter elaborado e auxiliado tecnicamente as análises químicas do percolado de biogás.

Ao Engenheiro Bruno Caldas, funcionário da empresa ESTRE por ter fornecido material de acervo próprio.

À Landtec por ter aceitado a divulgação do material apresentado.

À empresa ACEPIL em especial aos senhores Sérgio e Eduardo por sempre estarem buscando melhores alternativas técnicas para constituição de peças e conexões especiais no sistema de condução de Biogás.

À empresa Polierg e ao Sr. Wanderley pelo fornecimento de materiais técnicos de consulta.

À todos da empresa Rothenberger e ao Sr. Zalko Bergel, pelo auxílio técnico em vendas e após vendas de seus equipamentos.

À todos da empresa Poli Easy e aos senhores Gil e Renato Salomão, pelo auxílio técnico em vendas e após vendas de seus equipamentos e pelos materiais técnicos fornecidos.

Agradeço a Universidade Presbiteriana Mackenzie pelo ensinamento profissional e ético durante o curso de Engenharia Civil.

Ao Dr. Edison Tadeu Costa Prado Gerente de Planejamento e ao Dr. Aloysio Arones D'Andrea Pinto diretor técnico da empresa Heleno e Fonseca, pela chance de poder aprender uma inovação durante o período de estágio, sendo meus supervisores.

Ao Engenheiro Silvio, Sr. Glisolfo e Sr. Joarez, ex-funcionários da empresa Heleno e Fonseca no Aterro Bandeirantes que sempre me receberam muito bem e me ajudaram com materiais durante o período de estágio.

Agradeço em especial ao Dr. Delbim, Diretor da empresa Biogás por poder me dar a oportunidade de participar de uma inovação, assim como materiais fornecidos durante o período de estágio e ao Gerente Tiago Nascimento por estarmos discutindo, mesmo em empresas e Aterros diferentes, novas experiências.

Ao Sr. Renato Mangini, ex-funcionário da empresa Poli Easy por me fornecerem materiais essenciais para execução deste trabalho durante o período de estágio.

Agradeço aos funcionários Matuo, Paulo Papai Noel, Eng. Ronaldo funcionários da empresa Logos Arcadis e ao Eng. Renato Franzini da Maré Engenharia por ter reconhecido meu trabalho durante o período de estágio, sendo os propulsores de exemplos profissionais e éticos de minha carreira como Engenheiro Civil de Campo.

Agradeço aos meus amigos preciosos, o grande Jornalista Guilherme Sardas que colaborou com execução de textos técnicos, o Engenheiro Gerson Cazarini pelo compartilhamento de minha vida profissional e ao Engenheiro Leonardo Augusto Ferraro por sempre estarem ao meu lado tantos nos bons e maus momentos.

Venho a agradecer a Sra. Mercedes Alonso por todo apoio durante a finalização deste trabalho.

Este trabalho é dedicado a minha mãe, que sempre esteve ao meu lado nos bons e maus momentos durante toda minha vida, com uma paciência única. Dedico também a minha irmã e meu cunhado, que mesmo distantes, sempre tiveram ouvidos para minha vida. Dedico ao meu pai, cuja colaboração financeira foi essencial para a minha formação acadêmica e sempre me aconselhou, dando a oportunidade para que se criassem portas para iniciar a carreira. Finalmente, dedico a todos os colegas e amigos das empresas Arquipélago Ambiental e Lara Energia, em especial o Diretor Ralf Lattouf, que abriu uma porta com

maçaneta de ouro na minha vida profissional, sendo este trabalho consequência da oportunidade profissional que se iniciou em novembro de 2007.

"É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar; é melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver..."

Martin Luther King

RESUMO

CABRAL, R. C. **Aproveitamento do biogás em aterros sanitários: especificações construtivas beneficiando aspectos ambientais e energéticos.** 2009. 129 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia) IEE da Universidade de São Paulo.

Este trabalho visa estabelecer critérios técnicos para a otimização do processo de captura do biogás e do seu aproveitamento a partir de resíduos sólidos em Aterros Sanitários. As vantagens deste processo estão relacionadas à produção de energia elétrica, à geração de créditos de carbono e à possibilidade de aquecimento de caldeiras industriais. Para tal, serão explicitados os parâmetros desenvolvidos para a construção de um sistema de tubulações que possibilite esta otimização, bem como os critérios para a instalação de poços de biogás. Também serão apresentadas as reações bioquímicas inerentes ao processo de produção do biogás a partir da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos. O estudo dessas reações bioquímicas servirá não somente para explicar as etapas da geração do biogás e sua posterior utilização, como também para justificar a necessidade de adaptação das peças de todo o sistema de tubulações para a otimização do processo. Outra preocupação deste trabalho é apresentar propostas para reduzir o efeito da emissão de gases poluentes resultantes do processo de produção do biogás. Por essa razão, será mostrada a importância da transformação do metano em dióxido de carbono para mitigar o impacto ambiental e, consequentemente, possibilitar a geração de créditos de carbono e energia elétrica.

Palavras-chaves: Biogás, Aterros Sanitários, Meio Ambiente, Energia.

ABSTRACT

CABRAL, R.C. **Biogas Extraction from landfill: constructive specifications benefiting ambient and energy aspects**. 2009. 129 p. Monograph (Specialization in Environmental Management and Energy Business of the Energy and Electro-Technical Institute (IEE) of the University of São Paulo (USP).

This work aims to establish technical criteria for the improvement of biogas capture process and its exploitation from solid particles in landfill. The advantages of this process are related to electric energy production, generation of carbon credits and possibility of heating of industrial boilers. Parameters established hereof for the construction of a pipeline system for that makes possible this improvement, as well as the criteria for the installation of wells of biogas will be explained. Biochemical reactions involved in biogas production from organic substances in the solids particles present in landfill will also be presented in this work. This study will not only serve to explain the stages of biogas generation and its posterior use, as well as to justify the need for adapting some parts of the pipeline system for the process improvement. This work also deals with proposals to reduce the effect of the emission of resultant pollutant gases of biogas production process. Therefore, the importance of the transformation of methane into carbon dioxide will be shown to mitigate environmental impact, making the carbon credits and electric energy generation and possible.

.

Keywords: Biogas, Landfill, Environment, Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Índice de qualidade de aterro de resíduos no estado de São Paulo – IQR – 1997.....	25
Figura 2 Índice de qualidade de aterro de resíduos no estado de São Paulo – IQR – 2007.....	26
Figura 3 Ilustração de um Lixão.....	28
Figura 4 Instalação de manta de impermeabilização.....	30
Figura 5 Execução de drenagens.....	30
Figura 6 Visão aérea de um aterro sanitário.....	31
Figura 7 Ilustração de um aterro sanitário.....	32
Figura 8 Método da Trincheira ou Vala.....	32
Figura 9 Método da Área.....	33
Figura 10 Método da Rampa.....	33
Figura 11 Descarte de lixo em aterro sanitário.....	34
Figura 12 Compactação de lixo em aterro sanitário.....	34
Figura 13 Cobertura de lixo em aterro sanitário.....	35
Figura 14 Visão aérea da Estação de Tratamento de Efluentes do Lara.....	37
Figura 15 Biogás em combustão.....	38
Figura 16 Organização de um aterro.....	39
Figura 17 Perfil Típico do Maciço Sanitário.....	40
Figura 18 Dreno Vertical (PDR).....	41
Figura 19 Dreno Vertical Lara.....	42
Figura 20 Perfuração no Aterro Sanitário Lara.....	43
Figura 21 Execução de Dreno no Aterro Sanitário Lara.....	43
Figura 22 Esquema de reações na digestão anaeróbia de materiais polímeros.....	45
Figura 23 Vista do Dreno Vertical Queimando Biogás.....	53
Figura 24 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Azul.....	64
Figura 25 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Amarela.....	64
Figura 26 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Vermelha.....	65
Figura 27 Croqui de Cores de Chamas de Drenos Verticais.....	66
Figura 28 Condensador expedito de Biogás.....	67
Figura 29 Produção de Condensado de Biogás em Condensador Expedito.....	67
Figura 30 Coleta de Condensado de Biogás do Condensador Expedito.....	68
Figura 31 Croqui de Áreas de influência de drenos Verticais.....	70
Figura 32 Croqui de Volume de influência de drenos Verticais.....	71
Figura 33 Vista de Blower utilizado no Aterro Sanitário Bandeirantes.....	73
Figura 34 Vista de Blower utilizado no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.....	74
Figura 35 Vista de Blower utilizado no Aterro Sanitário Lara.....	74
Figura 36 Colapso em tubulações de PEAD.....	75
Figura 37 Vista de Linha principal no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.....	78
Figura 38 Fluxo descendente e ascendente de biogás.....	79
Figura 39 Vista de Manifold utilizado no Aterro Sanitário Lara.....	81
Figura 40 Vista de Manifold utilizado no Aterro Sanitário Estre-Paulínea.....	81
Figura 41 Vista de Manifold utilizado no Aterro Sanitário Bandeirantes.....	82
Figura 42 Croqui de Planejamento de Linhas de Biogás em Aterro Sanitário.....	84
Figura 43 Vista de distribuição de linhas de Biogás no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.....	85
Figura 44 Vista de implantação de linhas de Biogás no Aterro Sanitário Terrestre.....	86
Figura 45 Máquina de solda Topo KL 315.....	87
Figura 46 Vista de posicionamento de tubulação PEAD para soldagem.....	88

Figura 47 Vista de faceamento de tubulação PEAD para soldagem.....	88
Figura 48 Vista de verificação de tempo de aquecimento de solda topo.....	90
Figura 49 Vista de verificação de tempo de resfriamento de solda topo.....	90
Figura 50 Vista tubulação após soldada.....	91
Figura 51 Vista instalação de junta em borracha EPDM.....	91
Figura 52 Vista instalação de válvula.....	92
Figura 53 Vista de corte de tubo para execução de Tê.....	93
Figura 54 Vista de execução do revestimento de Tê.....	94
Figura 55 Vista de execução Travessia Exposta.....	95
Figura 56 Vista de execução Travessia sem encamisamento.....	96
Figura 57 Vista de execução Travessia com encamisamento.....	97
Figura 58 Vista de verificação de declividade em travessia.....	98
Figura 59 Croqui de implantação de linhas em talude.....	99
Figura 60 Vista de linhas em talude com zona de respiração.....	100
Figura 61 Vista de linhas implantadas em platô.....	101
Figura 62 Vista de dreno vertical com fogo.....	102
Figura 63 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por água.....	103
Figura 64 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por abafamento.....	104
Figura 65 Vista de tocha provisória implantada.....	104
Figura 66 Esquema de ordem de encerramento de fogo.....	105
Figura 67 Camadas necessárias à impermeabilização de Base de cabeçote.....	106
Figura 68 Vista de escavação de dreno vertical.....	107
Figura 69 Vista de instalação de Manta Geotextil.....	108
Figura 70 Vista de execução de camada protetora.....	109
Figura 71 Vista de instalação de Manta PEAD em talude.....	110
Figura 72 Vista de instalação de Manta PEAD em platô no Aterro Terrestre.....	111
Figura 73 Vista de execução de selo com bentonita.....	112
Figura 74 Vista de anel selante em PEAD.....	112
Figura 75 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário Terrestre.....	113
Figura 76 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.....	114
Figura 77 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.....	115
Figura 78 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário LARA.....	116
Figura 79 Vista de cabeçote em teste no Aterro Sanitário LARA.....	117
Figura 80 Vista de Usina de Combustão de Biogás no Aterro Sanitário Lara.....	118
Figura 81 Como funciona o mecanismo de crédito de carbono.....	119
Figura 82 Motor a Gás.....	121
Figura 83 Turbina a Gás.....	122
Figura 84 Microturbina.....	122
Figura 85 Ciclo Carnot.....	123
Figura 86 Motor a Biogás.....	123
Figura 87 Turbina a Biogás.....	124
Figura 88 Caldeira à Biogás.....	124
Figura 89 Estufa aquecida por Biogás.....	125
Figura 90 Artesanato produzido a partir de Biogás.....	125
Figura 91 Caminhão movido por GNL provido a partir de Biogás.....	126
Figura 92 Usina para produção de Metanol.....	126
Figura 93 Biogás transformado em GNC.....	127
Figura 94 Biogás utilizado para produção de Biodiesel.....	127
Figura 95 Poste de iluminação a Biogás.....	128
Figura 96 Veículo abastecido por Biometano.....	128

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribuição Percentual da Quantidade Total de RSU Coletado no Brasil.....	23
Gráfico 2 Classificação Percentual das Diversas Modalidades de Destinação Final de RSU..	24
Gráfico 3 Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos.....	47
Gráfico 4 Estimação Geração de Gás Metano no Aterro Sanitário Lara.....	51
Gráfico 5 Efeito Estufa.....	55
Gráfico 6 Indicadores da influencia humana durante a era de industrialização.....	58
Gráfico 7 Variações da temperatura superficial da Terra.....	58
Gráfico 8 Disseminação de gás – Efeito Estufa.....	59
Gráfico 9 Emissões de Metano.....	60
Gráfico 10 Panorama mundial de emissões de gás metano de Aterros Sanitários.....	61
Gráfico 11 Emissão de metano por setor brasileiro.....	62
Gráfico 12 Gráfico Típico de Perda de Carga para Tubo de PEAD.....	83
Gráfico 13 Esquema de implantação de linhas em platô.....	102
Gráfico 14 Emissão global dos gases do Efeito Estufa.....	129
Gráfico 15 Redução de CO ₂ eq para o primeiro período de compromisso (2008-2012).....	130
Gráfico 16 Matriz elétrica Muldial.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Municípios Analisados e Utilizados para Projeções.....	23
Tabela 2 Relação dos resíduos gerados e coletados nas regiões brasileiras.....	24
Tabela 3 Valores de K e L0 propostos pela USEPA.....	50
Tabela 4 Estimação da densidade do Lixo Depositado.....	51
Tabela 5 Planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos.....	57
Tabela 6 Análise Química de Condensado.....	69
Tabela 7 Tabela de carga de colapso permitida em bar.....	75
Tabela 8 Dimensões conforme ISO 4427 – PE-80 / PE-100.....	77
Tabela 9 Tabela de perda de Carga Localizada expressos em comprimento equivalente.....	80
Tabela 10 Tabela de solda para tubulação de PEAD.....	89
Tabela 11 Potencia elétrica gerada pelo Biogás de Aterros Sanitários no Brasil.....	132

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	24
<u>1.1 Objetivo Geral.....</u>	<u>25</u>
<u>1.2 Objetivos Específicos.....</u>	<u>25</u>
<u>1.3 Metodologia da Pesquisa.....</u>	<u>25</u>
DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	26
<u>1.4 Resíduos Sólidos.....</u>	<u>26</u>
<u>1.5 Origem dos Resíduos Sólidos.....</u>	<u>26</u>
1.5.1 Resíduos Sólidos Domiciliar	26
1.5.2 Resíduos Sólidos Comercial	26
1.5.3 Resíduos Sólidos Públicos	27
1.5.4 Resíduos Sólidos de Serviços de saúde e hospitalar	27
1.5.5 Resíduos Sólidos de Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários.....	27
1.5.6 Resíduos Sólidos Industriais.....	27
1.5.7 Resíduos Sólidos Agrícolas	28
1.5.8 Entulho.....	28
<u>1.6 Classificação de Resíduos Sólidos.....</u>	<u>28</u>
1.6.1 Resíduos Classe I ou perigosos.....	28
1.6.2 Resíduos Classe II ou II A ou resíduos não inertes.....	29
1.6.3 Resíduos Classe III ou II B ou resíduos inertes.....	29
<u>1.7 Destinação Final de Resíduos Sólidos.....</u>	<u>29</u>
2.4.1 Alternativas tecnológicas para os tratamentos e disposição final dos resíduos.....	33
2.4.1.1 Incineradores.....	33
1.7.0.1 Compostagem.....	34
1.7.0.2 Reciclagem.....	34
1.7.0.3 Lixão.....	34
1.7.1 Aterros	35
1.7.1.1 Aterro Controlado.....	36
1.7.1.2 Aterro Sanitário.....	36
<u>1.8 Aterramento de Resíduos Sólidos.....</u>	<u>39</u>
1.8.1 Operação de Aterros Sanitários.....	40
EFLUENTES EM ATERROS SANITÁRIOS.....	43
<u>1.9 Efluentes Líquidos.....</u>	<u>43</u>
<u>1.10 Efluentes gasosos.....</u>	<u>43</u>
<u>1.11 Sistemas de drenagem dos efluentes.....</u>	<u>45</u>
ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS.....	52
<u>1.12 Decomposição da matéria orgânica.....</u>	<u>52</u>
<u>1.13 Condições indispensáveis à fermentação.....</u>	<u>53</u>

1.14 Fases de geração de biogás.....	54
1.15 Exemplo de estimativa de Geração de Biogás em Aterros Sanitários.....	56
IMPACTOS GERADOS PELO BIOGÁS.....	60
1.16 Odor Gerado pelo Biogás.....	60
1.17 Efeito Estufa.....	61
PROPOSTA PARA ANÁLISES PRELIMINARES DE PROJETO DE CAPTURA DE BIOGÁS.....	70
6.2 Análise das colorações da chama de queima de Biogás.....	70
6.3 Análise da Composição Química do Condensado de Biogás.....	73
CLIENTE.....	76
CDR PEDREIRA CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESIDUOS LTDA.....	76
ENDEREÇO.....	76
X.....	76
Y.....	76
V.....	76
Z.....	76
Z.....	76
6.4 Estudo da Geração de Biogás por Volume de Influência.....	77
DIMENSIONAMENTO E PROJEÇÃO DE LINHAS DE BIOGÁS.....	79
1.18 Material das Tubulações condutoras de Biogás.....	79
1.18.1 Materiais Metálicos.....	79
1.18.2 Materiais Plásticos.....	79
1.18.2.1 Poli Etileno de Alta Densidade.....	79
1.19 Pressão solicitada nas linhas de Biogás.....	80
1.20 Determinação da classificação da Tubulação de PEAD.....	82
1.21 Escolha dos Diâmetros da Tubulação Principal.....	84
1.22 Escolha dos Diâmetros das Tubulações Secundárias.....	87
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTURA E CONDUÇÃO DO BIOGÁS.....	91
1.23 Distribuição das Malhas de Tubulações condutoras de Biogás.....	91
1.24 Soldagem das Tubulações de PEAD.....	93
1.25 Peças e Conexões especiais.	98
1.26 Travessias de acessos.....	101
1.26.1 Travessias de acessos expostas.....	101
1.26.2 Travessias de Acessos Enterradas.....	102
1.26.2.1 Travessias de Acessos Enterradas sem Encamisamento.....	103
1.26.2.2 Travessias de Acessos Enterradas com Encamisamento.....	103
1.26.3 Verificação da declividade.....	104
1.27 Implantação de Linhas de Biogás em Talude.....	105
1.28 Implantação de Linhas de Biogás em Platô.....	107
1.29 Execução de Cabeçotes nos drenos do Biogás.....	109
1.29.1 Encerramento de fogo de Drenos Verticais.....	109
1.29.1.1 Ordem de Encerramento de Fogo.....	112
1.29.2 Impermeabilização de Base.....	113
1.29.3 Cabeçotes de drenagem vertical.....	120

UTILIZAÇÕES DO BIOGÁS GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS.....	124
<u>1.30 Créditos de Carbono.....</u>	<u>124</u>
<u>1.31 Geração de energia elétrica.....</u>	<u>127</u>
<u>1.32 Exemplos de uso direto do biogás.....</u>	<u>131</u>
BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS.....	136
<u>1.33 Benefícios ambientais.....</u>	<u>136</u>
<u>1.34 Benefícios energéticos.....</u>	<u>137</u>

INTRODUÇÃO

Após dispostos nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia, segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM.

O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como Biogás (IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009).

O biogás gerado nos aterros sanitários que é composto por metano (60%), dióxido de carbono (35%) e hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, amônia, óxido sulfídrico, aminas voláteis e monóxido de carbono, perfazendo 5%; gases estes responsáveis pelo fenômeno conhecido como efeito estufa (NUNESMAIA, 1997; PECORA, 2008). O gás metano é um dos gases mais representativos que vem causando o gradativo aquecimento do planeta, tendo como consequência um aumento da temperatura global, o que, mesmo tratando-se de poucos graus, levaria ao degelo das calotas polares e a grandes alterações a nível topográfico e ecológico do planeta (SCHIEL, 2008).

Este presente trabalho apresenta especificações técnicas sobre a captura e condução de biogás de aterro sanitário, que deve ser drenado, capturado, conduzido e queimado para mitigação dos efeitos causados pelo seu lançamento na atmosfera, com o objetivo de reduzir a potencialização do efeito estufa e colaborar para geração de suprimentos energéticos.

Serão apresentados primeiramente os conceitos sobre resíduos sólidos com as respectivas classificações e destinações finais. A seguir discorre-se sobre os efluentes líquidos e gasosos produzidos durante a decomposição dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos impactos ambientais gerados por efluentes gasosos. Para mitigação dos impactos ambientais e potencial aproveitamento energético do biogás será apresentado metodologia para estimativa da geração de gases em aterros sanitários, as análises preliminares e as respectivas especificações técnicas e construtivas necessárias para projeto de sistema de captura e condução, dimensionamento e implantação do referido sistema. São apresentados também os benefícios potenciais energéticos oriundos da geração de energia pela queima do biogás, bem como as vantagens decorrentes na geração de crédito de carbono do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), definido pelo Protocolo de Quioto.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho apresenta uma proposta metodológica, a partir de avaliações empíricas sobre o projeto de aproveitamento do gerado nos aterros sanitários visando a redução dos potenciais impactos ambientais associados de exalação dos gases, assim como os ganhos energéticos e econômicos do aproveitamento do mesmo.

1.2 Objetivos Específicos

O trabalho apresenta critérios técnicos e ambientais de planejamento técnico e construtivo de toda a estrutura do sistema de captura e condução de biogás gerado a partir de resíduos sólidos depositados em aterros sanitários. Serão demonstradas as vantagens de implantação do sistema em todas as etapas do processo, ou seja, aumento da eficiência da captura do biogás, através do adequado projeto dos poços e da malha de tubulações de biogás; redução do impacto ambiental causado pelo processo de destruição do gás metano através da queima. Estes procedimentos contribuem para a diminuição da emissão de gases poluentes na atmosfera, gerando benefícios energéticos pela substituição da utilização de parte de combustível fóssil pelo biogás gerado em aterros sanitários.

1.3 Metodologia da Pesquisa

O trabalho foi desenvolvido a partir de levantamentos bibliográficos e especificamente a partir de experiências empíricas do autor com projetos e operações de instalações de sistemas de captura e condução de biogás em aterros sanitários.

DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

1.4 Resíduos Sólidos

Define-se lixo como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semi líquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente) (BRAGA, 2002).

Definem-se resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, e serviço de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso solução técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível (BRAGA, 2002).

1.5 Origem dos Resíduos Sólidos

1.5.1 Resíduos Sólidos Domiciliar

É aquele originado da vida diária das residências, constituído por setores de alimentos (tais como, cascas de frutas, verduras etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos (BIDONE, 2001).

1.5.2 Resíduos Sólidos Comercial

É aquele originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes etc. O lixo destes estabelecimentos e serviços é em grande parte compostos de papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como, papel toalha, papel higiênico etc. (BIDONE, 2001)

1.5.3 Resíduos Sólidos Públicos

São aqueles originados dos serviços: de limpeza pública urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos, restos de podas de árvores etc.; de limpeza de áreas de feiras livres, constituídos por restos vegetais diversos, embalagens etc. (BIDONE, 2001).

1.5.4 Resíduos Sólidos de Serviços de saúde e hospitalar

Constituem os resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, tais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde etc. São agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazos de validade vencidos, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X etc. Resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pós, cinzas etc.), e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são considerados como domiciliares (BIDONE, 2001).

1.5.5 Resíduos Sólidos de Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários

Basicamente, originam-se de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países. Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais são considerados como domiciliares (BIDONE, 2001).

1.5.6 Resíduos Sólidos Industriais

Aquele originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como, metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia etc. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros e cerâmicas etc. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico (BIDONE, 2001).

1.5.7 Resíduos Sólidos Agrícolas

Resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita etc. Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agroquímicos diversos, em geral altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica, definindo os cuidados na sua destinação final e, por vezes, co-responsabilizando a própria indústria fabricante destes produtos (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

1.5.8 Entulho

Resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações etc. O entulho é, geralmente, um material inerte, passível de reaproveitamento (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

2.2.9 Resíduos Sólidos Rurais

Resíduos sólidos oriundos de atividades agropecuárias, bem como os gerados por insumos utilizados nas respectivas atividades (ABLP, 2009)

1.6 Classificação de Resíduos Sólidos

São várias as formas possíveis de se classificar o lixo, por sua natureza física: seco e molhado; por sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica; pelos riscos potenciais ou meio ambiente: perigosos, não-inertes (NBR-100004) (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Normalmente, os resíduos são definidos segundo sua origem e classificados de acordo com o seu risco em relação ao homem e ao meio ambiente em resíduos urbanos e resíduos especiais (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com base na [NBR 10004/2004](#) os resíduos são classificados como:

1.6.1 Resíduos Classe I ou perigosos

São classificados como resíduos classe I ou perigosos, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade,

reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. (SANTEC, 2008).

1.6.2 Resíduos Classe II ou II A ou resíduos não inertes

São classificados como Classe II ou II A ou resíduos não inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I - perigosos ou na Classe III ou II B - inertes (SANTEC, 2008). Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (SANTEC, 2008).

1.6.3 Resíduos Classe III ou II B ou resíduos inertes

São classificados como Classe III ou II B ou resíduos inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10006 - "Solubilização de Resíduos - Procedimento") não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem 8 - "Padrões para o Teste de Solubilização". Como exemplos destes materiais, se podem citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos (SANTEC, 2008)

1.7 Destinação Final de Resíduos Sólidos

O lixo é coletado ou pelas prefeituras ou por uma companhia particular e levado a um depósito, juntamente com o lixo de outras residências da área. Lá pode haver uma certa seleção - sobras de metal, por exemplo, são separadas e reaproveitadas. O resto do lixo é enterrado em aterros apropriados. (NUNESMAIA, 1997).

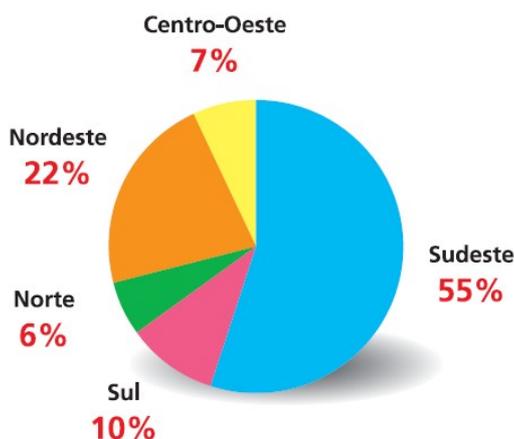
Conforme a ABRELPE, as informações relativas aos serviços de coleta de RSU utilizadas tiveram por origem as pesquisas realizadas junto aos municípios brasileiros em 2005, 2006 e 2007 e, subsidiariamente, às pesquisas do SNIS realizadas de 2002 a 2005. O total de municípios analisados foi de 330, sendo que 116 (35%) foram selecionados como amostragem representativa para a projeção da quantidade de resíduos sólidos coletados no Brasil e em cada uma de suas macro-regiões, conforme tabela abaixo:

Tabela 1 Municípios Analisados e Utilizados para Projeções

Macro-Região	População Urbana (A)	População Urbana dos Municípios Utilizados para Projeções (P)	(P) / (A)
Norte	10.058.979	3.142.434	31%
Nordeste	36.577.772	12.055.662	33%
Centro Oeste	12.269.829	5.510.149	45%
Sudeste	71.557.902	14.602.065	20%
Sul	22.032.325	4.723.677	21%
Total	152.496.807	40.033.987	26%

Fonte: ABRELPE, 2007 p. 40

Segue abaixo um gráfico que representa a distribuição Percentual (%) da Quantidade Total de RSU Coletado no Brasil, conforme estimativas da ABRELPE.

Gráfico 1 Distribuição Percentual da Quantidade Total de RSU Coletado no Brasil

Fonte: ABRELPE, 2007 p. 48

A tabela abaixo, através de relações da distribuição Percentual (%) da Quantidade Total de RSU Coletado no Brasil com amostragens consideradas pela ABRELPE de municípios analisados e utilizados para projeções, resulta as quantidades geradas e coletadas de resíduos sólidos urbanos brasileiros.

Tabela 2 Relação dos resíduos gerados e coletados nas regiões brasileiras

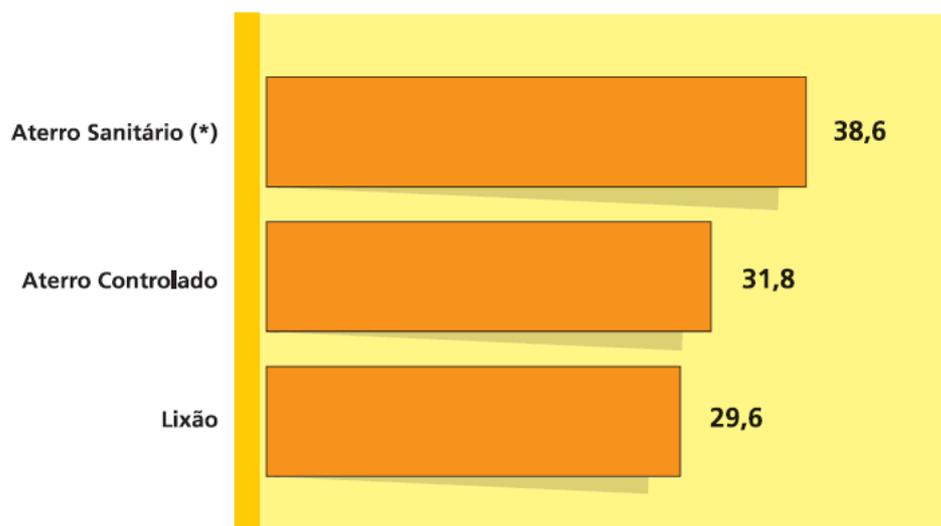
Região	População	RSU Gerado (Kg/hab/dia)	RSU Gerado (Kg/região/dia)	% RSU Coletado	RSU Coletado (Kg/região/dia)
Norte	10.058.979,00	0,992	9.978.507,17	6,00%	598.710,43
Nordeste	36.577.772,00	1,236	45.210.126,19	22,00%	9.946.227,76
Centro Oeste	12.269.829,00	1,040	12.760.622,16	45,00%	5.742.279,97
Sudeste	71.557.902,00	1,177	84.223.650,65	55,00%	46.323.007,86
Sul	22.032.325,00	0,749	16.502.211,43	10,00%	1.650.221,14
TOTAIS			168.675.117,60		64.260.447,17

Fonte: ABRELPE, 2007 p. 49

Contudo é revelado que dos 168.675.117,60 Kg gerados no Brasil, 64.260.447,17 Kg são coletados estimando aproximadamente 38% dos resíduos sólidos urbanos gerados são coletados e sofrendo algumas modalidades de destinação final através de dados da ABRELPE 2007 .

Abaixo é caracterizado, em termos percentuais, as modalidades de destinação final de resíduos sólidos urbanos praticadas por tais municípios analisados pela ABRELPE.

Gráfico 2 Classificação Percentual das Diversas Modalidades de Destinação Final de RSU



Fonte: ABRELPE, 2007 p. 52

No estado de São Paulo, através de levantamentos e informações obtidas por técnicos da CETESB, de 1997 a 2007 foram processados questionários padronizados que resultaram em índices de disposição final de resíduos sólidos como Índice de qualidade de aterro IQR, Índices de qualidade de Aterro em Vala, IQR Vala e Índice de qualidade de compostagem IQC, com variação de 0 a 10, e classificando em três faixas classificatórias: Inadequado, Controlado e Adequado.

Em 1997 o IQR médio apresentava um valor de 4,0, a quantidade de resíduos gerados era de 18.232 t/dia, a quantidade depositada adequadamente era de 1.987 t/dia, representando 10,9 % dos resíduos gerado.

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - IQR - 1997

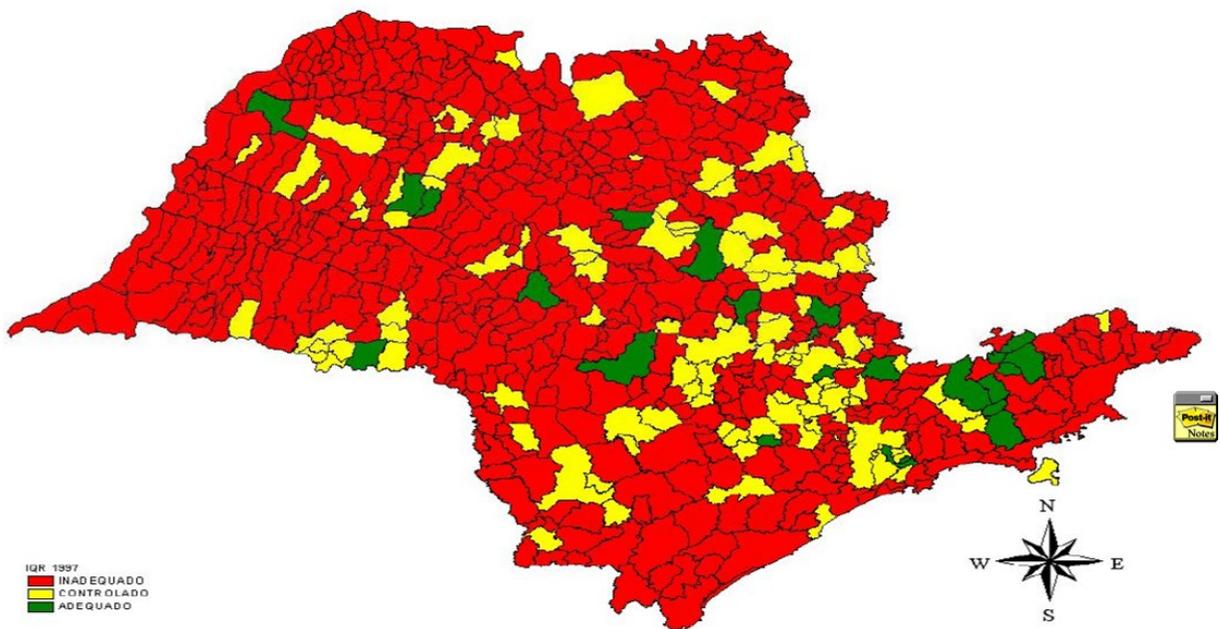


Figura 1 Índice de qualidade de aterro de resíduos no estado de São Paulo – IQR - 1997

Fonte: CETESB, 2007.

Em 2007 o IQR médio passou a apresentar um valor de 7,5, a quantidade de resíduos gerados era de 28.505 t/dia, a quantidade depositada adequadamente era de 23.192 t/dia, representando 81,4 % dos resíduos gerado.

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - IQR - 2007

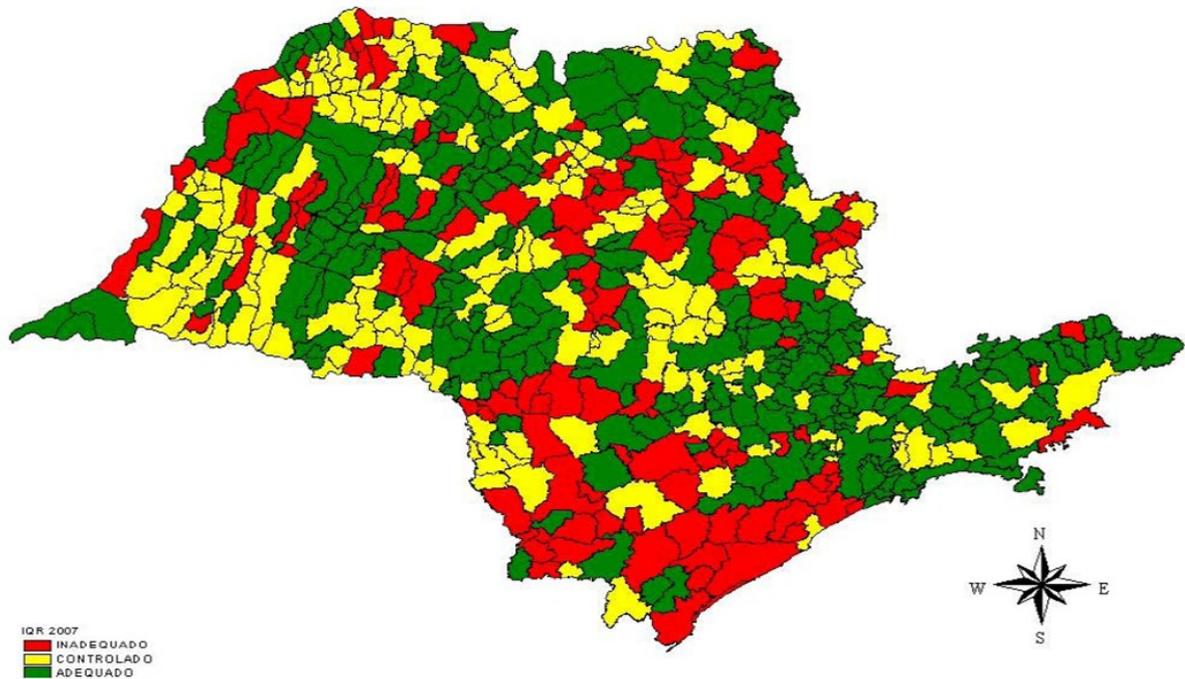


Figura 2 Índice de qualidade de aterro de resíduos no estado de São Paulo – IQR – 2007

Fonte: CETESB, 2007.

Desta maneira fica demonstrado que a Cetesb, dando prosseguimento as ações implementadas com contínuo aprimoramento técnico necessário, cumpre seu papel institucional, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população do estado, além de subsidiar a adoção de mecanismos eficazes de controle das condições ambientais e sanitárias das áreas urbanas dos municípios do Estado de São Paulo.

2.4.1 Alternativas tecnológicas para os tratamentos e disposição final dos resíduos

2.4.1.1 Incineradores

São equipamentos que viabilizam a redução de peso e volume do lixo através da combustão controlada. A incineração é utilizada atualmente no Brasil apenas para o tratamento de resíduos hospitalares e industriais. É bastante difundida em países desenvolvidos e com pouca extensão territorial e normalmente associada à produção de energia (AMBSC, 2008).

1.7.0.1 Compostagem

É o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Seu resultado final é um produto - o composto orgânico - que deve permitir sua aplicação no solo sem ocasionar riscos ao meio ambiente. É muito praticado no meio rural. Para ser aplicado aos resíduos sólidos urbanos, necessita-se de um rigoroso processo de triagem de sua fração orgânica para livrá-lo de componentes tóxicos ou perigosos (AMBSC, 2008).

1.7.0.2 Reciclagem

Consiste basicamente na reintrodução dos resíduos no processo de produção. É uma prática que precisa ser difundida, especialmente pela economia da energia gasta nos processos de produção e pela diminuição da utilização de matéria-prima virgem. Entretanto, para ser viabilizada em maior escala, torna-se inevitável a adoção de políticas voltadas à regulamentação e incentivos ao setor (AMBSC, 2008).

A reciclagem do lixo compreende uma série de atividades de coleta, separação ou processamento de materiais que se tornariam lixo. Com a reciclagem, esses materiais podem ser usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos.

O principal objetivo deste processo é a reintegração dos resíduos sólidos no ciclo de produção e consumo, baseado no princípio dos 3 R's: Reduzir, Reutilizar, Reciclar (AMBSC, 2008).

1.7.0.3 Lixão

É um local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga de resíduos a céu aberto sem levar em consideração, segundo Bidone (2001):

- a área em que está sendo feita a descarga;
- o escoamento de líquidos formados, que percolados, podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas;
- a liberação de gases, principalmente o gás metano que é combustível;
- o espalhamento de lixo, como papéis e plásticos, pela redondeza, por ação do vento;

- a possibilidade de criação de animais como porcos, galinhas, etc. nas proximidades ou no local.



Figura 3 Ilustração de um Lixão.

Fonte: UNESP, 2008.

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), geração de maus odores e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume (líquido de cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo), comprometendo os recursos hídricos.

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se, até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Comumente, os lixões são associados a fatos altamente indesejáveis, como a criação de porcos e a existência de catadores (que, muitas vezes, residem no próprio local) (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

1.7.1 Aterros

Aterro é a disposição ou aterramento do lixo sobre o solo e deve ser diferenciado, tecnicamente, em aterro sanitário, aterro controlado e lixão ou vazadouro (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

1.7.1.1 Aterro Controlado

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (AMBIENTEBRASIL, 2008).

Esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados. Este método é preferível ao lixão, mas, devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, a qualidade é inferior ao aterro sanitário (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Na fase de operação, realiza-se uma impermeabilização do local, de modo a minimizar riscos de poluição, e a proveniência dos resíduos é devidamente controlada. O biogás é extraído e as águas lixiviantes são tratadas. A deposição faz-se por células que uma vez preenchidas são devidamente seladas e tapadas. A cobertura dos resíduos faz-se diariamente. Uma vez esgotado o tempo de vida útil do aterro, este é selado, efetuando-se o recobrimento da massa de resíduos com uma camada de terras com 1,0 a 1,5 metro de espessura. Posteriormente, a área pode ser utilizada para ocupações "leves" (zonas verdes, campos de jogos, etc.) (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

1.7.1.2 Aterro Sanitário

É um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, lixo domiciliar que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública; ou, forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de acordo com normas operacionais específicas, e de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).



Figura 4 Instalação de manta de impermeabilização.

Fonte: Heleno e Fonseca Construtécnica S.A., 2009.

Antes de se projetar o aterro, são feitos estudos geológico e topográfico para selecionar a área a ser destinada para sua instalação não comprometa o meio ambiente. É feita, inicialmente, impermeabilização do solo através de combinação de argila e lona plástica para evitar infiltração dos líquidos percolados, no solo. Os líquidos percolados são captados (drenados) através de tubulações e escoados para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas, do aterro (AMBIENTEBRASIL, 2008).



Figura 5 Execução de drenagens

Fonte: Heleno e Fonseca Construtécnica S.A., 2009.

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de balança. É proibido o acesso de pessoas estranhas. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia (aterros energéticos) (AMBIENTEBRASIL, 2008).

Segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984), o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso) (AMBIENTEBRASIL, 2008).

O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água. Deve ser de fácil acesso. A arborização deve ser adequada nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores (AMBIENTEBRASIL, 2008).



Figura 6 Visão aérea de um aterro sanitário.

Fonte: AMBIENTEBRASIL, 2008.

Devem ser construídos poços de monitoramento para avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. O efluente da lagoa deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano (AMBIENTEBRASIL, 2008). Nos aspectos operacionais de um aterro sanitário estão envolvidos os seguintes fatores:

- Tráfego;
- Espalhamento de materiais;
- Ruídos e odores;
- Proliferação de vetores;
- Frente de operação;
- Manutenção das estruturas;

- Monitoramento ambiental.

Esses fatores devem ser continuamente monitorados, pois eles podem mudar de situação conforme o desenvolvimento do aterro (UNESP, 2008).

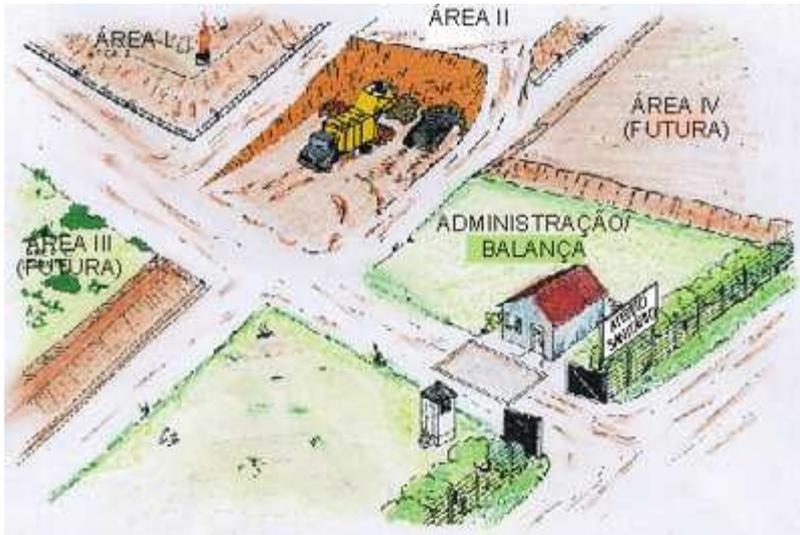


Figura 7 Ilustração de um aterro sanitário.

Fonte: UNESP, 2008.

A figura 5 acima esquematiza os aspectos operacionais do aterro sanitário com critérios de área, recebimento dos resíduos, inspeções, manejo adequado e cobertura diária. (UNESP, 2008).

1.8 Aterramento de Resíduos Sólidos

Forma de aterramento:

- Métodos da Trincheira ou Vala

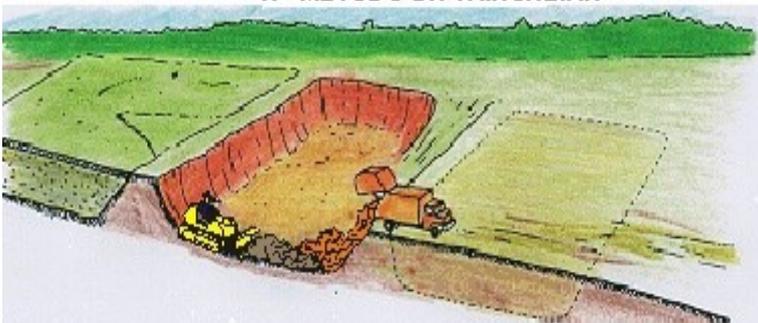


Figura 8 Método da Trincheira ou Vala

Fonte: UNESP, 2008.

b) Método da Área



Figura 9 Método da Área
Fonte: UNESP, 2008

c) Método da Rampa

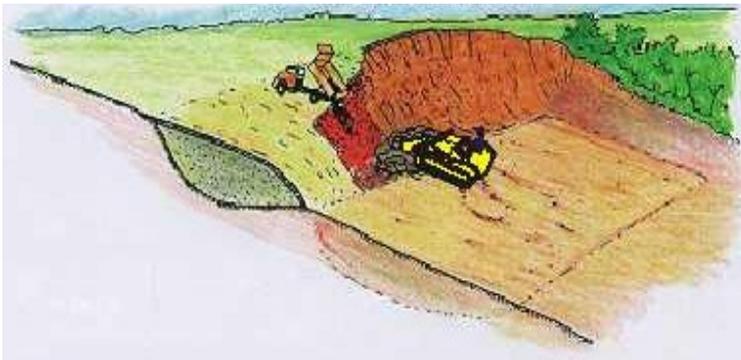


Figura 10 Método da Rampa.
Fonte: UNESP, 2008.

1.8.1 Operação de Aterros Sanitários

Compreende o espalhamento, compactação, cobertura e drenagem dos resíduos, monitoramento do sistema de tratamento de efluentes, monitoramento topográfico e das águas, manutenção dos acessos e das instalações de apoio. Abaixo as figuras 9, 10 e 11 demonstram a operação com as respectivas etapas (AMBSC, 2009)

Após a coleta, o lixo é descarregado no aterro sanitário.

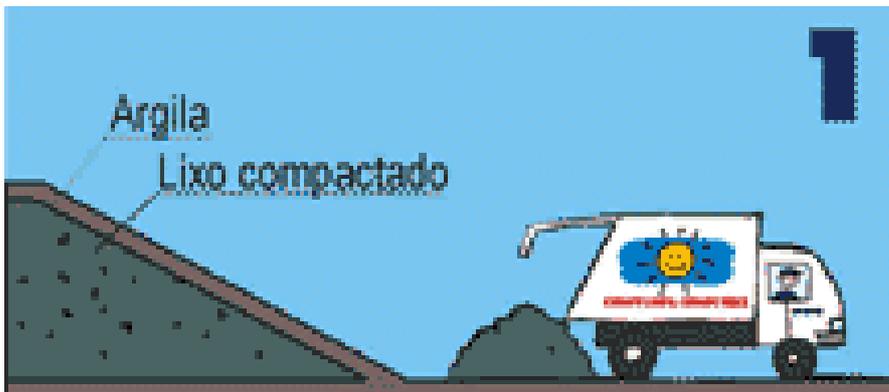


Figura 11 Descarte de lixo em aterro sanitário.
Fonte: AMBSC, 2008.

O lixo é compactado com trator, formando uma célula, que será recoberta com argila (AMBSC, 2008).



Figura 12 Compactação de lixo em aterro sanitário.
Fonte: AMBSC, 2008.

Ao final, o lixo fica protegido do espalhamento pelo vento e da ação de moscas, ratos, baratas, etc. segundo a Ambiental Saneamento e Concessões (2008):



Figura 13 Cobertura de lixo em aterro sanitário.

Fonte: AMBSC, 2008.

Embora a coleta dos resíduos em um município seja simples, esta técnica necessita de alguns cuidados em seu processo operacional para que sua eficiência seja maximizada. A operação incorreta do aterro sanitário pode lhe conferir características indesejáveis como a de um lixão, trazendo sérios riscos à saúde da população e ao meio ambiente (NUNESMAIA, 1997).

EFLUENTES EM ATERROS SANITÁRIOS

1.9 Efluentes Líquidos

O chorume era inicialmente apenas a substância gordurosa expelida pelo tecido adiposo da banha de um animal. Posteriormente, o significado da palavra foi ampliado e passou a significar o líquido poluente, de cor escura e odor nauseante, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos. Esses processos, somados com a ação da água das chuvas, se encarregam de lixiviar compostos orgânicos presentes nos aterros sanitários para o meio ambiente (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

Esse líquido pode vir a atingir as águas subterrâneas, poluindo esse recurso natural. A elevada carga orgânica presente no chorume faz com que ele seja extremamente poluente e danoso às regiões por ele atingidas (SISINNO & ROSÁLIA, 2000). A disposição inadequada dos resíduos sólidos promove a contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além da proliferação de vetores de doenças, influenciando negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população; portanto, esta prática deve ser evitada (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

O método de disposição final de resíduos sólidos urbanos, conhecido como aterro sanitário, aplica conhecimentos de engenharia e segue normas pré-estabelecidas de planejamento, construção e operação, minimizando riscos e problemas ambientais. A localização do aterro é criteriosamente selecionada, planejada e preparada. Em aterros sanitários, o resíduo sólido urbano é depositado em finas camadas, compactado e coberto com argila no final de cada operação (TARTARI, 2003).

Porém, um dos grandes problemas encontrados no gerenciamento de aterros sanitários de resíduos urbanos diz respeito à produção e ao tratamento do chorume produzido. Especialmente nos casos onde o aterro sanitário está situado em áreas com uma alta pluviosidade, a produção de chorume é abundante, conseqüentemente o risco de contaminação do solo, de águas subterrâneas e de leitos de rios é relativamente alto, podendo gerar um forte impacto ambiental. Chorume de aterros sanitários geralmente contém altas concentrações de compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal (GARCÍA, 1997).

Segundo a Engenheira Química Zenaide, funcionária do Aterro Sanitário Lara, em entrevista realizada em maio de 2008, o chorume pode conter metais pesados decorrentes da decomposição da característica do próprio solo de cobertura ou embalagens metálicas, ou pilhas e etc.

Nos aterros sanitários, onde ocorre a disposição planejada dos resíduos sólidos, normalmente o chorume é canalizado para um tanque a céu aberto, podendo haver ou não um pré-tratamento, e desse reservatório, em alguns casos, é despejado em corpos d'água. A poluição das águas pelo chorume pode provocar endemias ou intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permissível (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

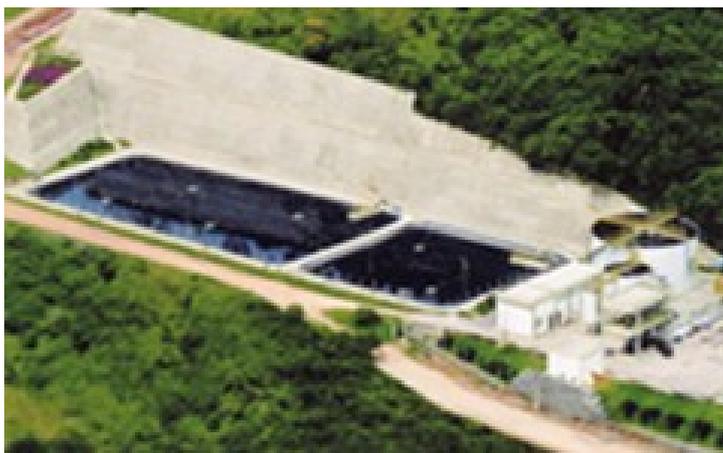


Figura 14 Visão aérea da Estação de Tratamento de Efluentes do Lara.

Fonte: LARA, 2008.

Nos aterros, o chorume é gerado pelo processo de degradação do lixo e pela passagem de águas de chuva que ocorre no interior dos mesmos. Ao ser drenado do aterro, o chorume resultante da mistura das duas fontes, carrega materiais em suspensão e dissolvidos com alto potencial de contaminação. Este chorume é potencialmente tóxico por conter metais pesados e altos níveis de demanda biológica de oxigênio, DBO, e demanda química de oxigênio, DQO. Além disto, verifica-se que apresentam características que variam em função dos resíduos aterrados e com a idade do aterro, o que o torna uma água residuária de difícil tratamento (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

No início da operação de um aterro sanitário observa-se que o chorume tem pH levemente ácido, que é justificado pela oxidação de carboidratos e gorduras e formação de ácidos orgânicos. Essa característica vai se alterando já que os carboidratos e gorduras se tornam escassos e inicia-se outro ciclo de reações envolvendo a hidrólise de proteínas. Nessa fase o pH aumenta em média para 8,5, gerando altas concentrações de nitrogênio na forma amoniacal. Isso prejudica o crescimento celular e impede a conversão do nitrogênio em nitrato e seu subsequente uso como macronutrientes. Outras substâncias como sulfetos,

também presentes no chorume, seguem a mesma seqüência de transformações (SISINNO & ROSÁLIA, 2000).

1.10 Efluentes gasosos

Os gases produzidos por ação biológica são, essencialmente, metano e dióxido de carbono, em concentrações variáveis no decurso da vida do aterro e dependentes da idade deste e da natureza dos resíduos aí depositados (LIPOR, 2008).

O dióxido de carbono tem uma densidade superior à do ar e elevada solubilidade na água, estando a sua drenagem natural associada à circulação dos lixiviados (chorume). O metano, sendo mais leve que o ar, tende a escapar-se ascencionalmente por difusão através da massa de resíduos (LIPOR, 2008).



Figura 15 Biogás em combustão.

Fonte: Fokal, 2008.

O biogás captado, que é o conjunto de gases produzido por ação biológica, quando simplesmente queimado no Dreno Vertical, pode chegar a temperaturas de 1200 °C (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000), pois o poder calorífico do biogás é aproximadamente 6 kWh/m³ quando utilizado em motores. (BRITO FILHO, 2005).

1.11 Sistemas de drenagem dos efluentes

Em muitos aterros sanitários, como no LARA, CDR – Pedreira, Terrestre e Bandeirantes, os gases são produzidos em camadas de lixo que são compactados em camadas,

que tem por volta de cinco metros de altura. Para cada célula de cinco metros concluída, são construídos drenos horizontais e verticais interligados, formando uma malha de galerias subterrâneas (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

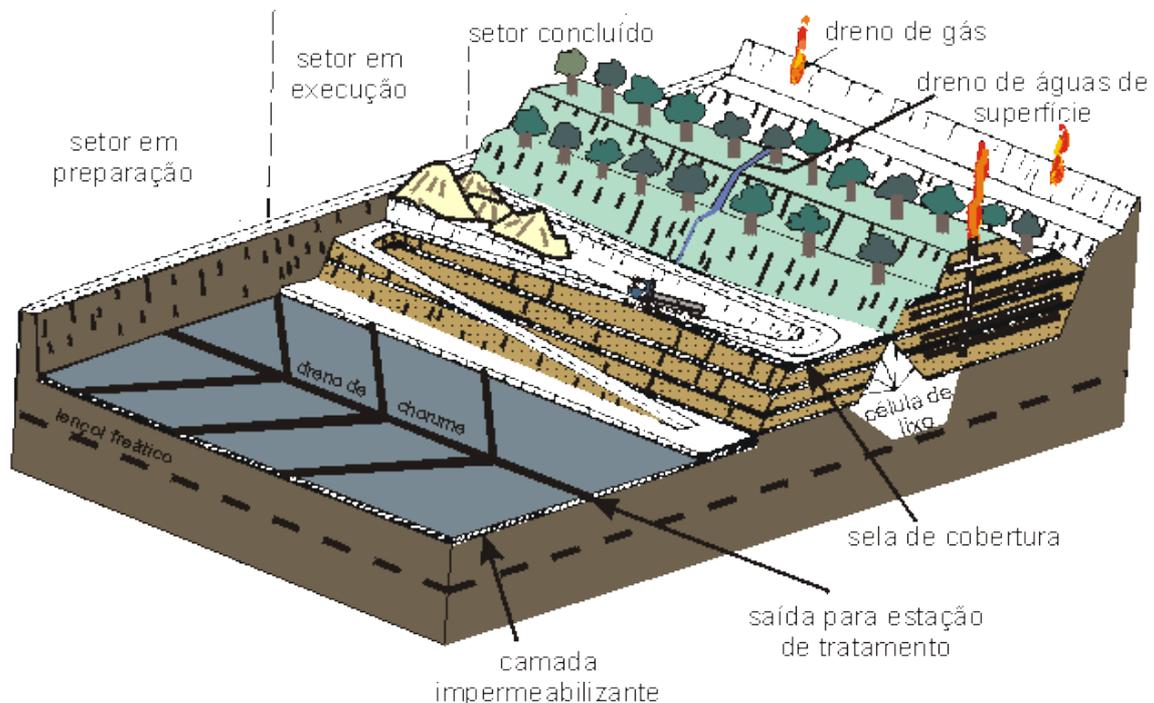


Figura 16 Organização de um aterro.

Fonte: AMBSC, 2008.

Os sistemas de captações e drenagens de biogás e chorume são constituídos geralmente pelos conjuntos de drenos verticais e horizontais colocados na massa de resíduos (LIPOR, 2008).

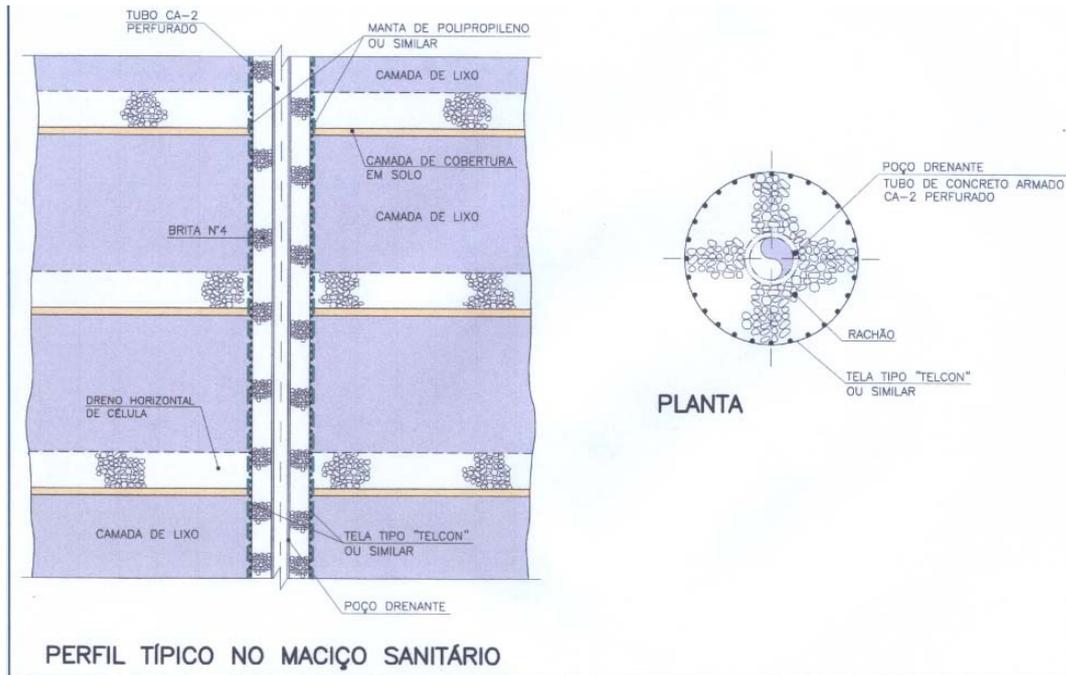


Figura 17 Perfil Típico do Maciço Sanitário.

Fonte: Delbin, 2004.

Alguns drenos verticais são constituídos por tubulação de concreto armado perfurado no centro do dreno vertical e pedra rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de concreto perfurada. (Vide figura 18).



Figura 18 Dreno vertical (PDR) .

Fonte: Delbin, 2004.

Existem drenos verticais que são constituídos por tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade perfurado no centro do dreno vertical e pedra rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade perfurado. (Vide figura 19).



Figura 19 Dreno vertical LARA.

Fonte: LARA, 2008.

Alguns drenos verticais são constituídos por tubulação de aço perfurado no centro do dreno vertical e pedra rachão envolvida com tela de aço no entorno da tubulação de aço perfurado.

Em alguns aterros sanitários, como o LARA, para auxiliar a execução de drenagem de efluentes gasosos em drenagens verticais, tornou-se necessária algumas perfurações para otimização dessa drenagem nos locais mais antigos, onde não havia sido projetada a extração do efluente gasoso. (Vide figura 20).



Figura 20 Perfuração no aterro sanitário Lara.
Fonte: LARA, 2008.

Na ilustração acima é observada a perfuração do maciço para inserção de uma drenagem vertical que colabora para drenagem de efluentes gasosos.



Figura 21 Execução de Dreno no aterro sanitário Lara.
Fonte: LARA, 2008.

Para a drenagem dos efluentes em regiões onde foi necessária a perfuração, foi inserida uma Tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade Perfurada preenchida no seu entorno com pedra Rachão. (Vide figura 21).

ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS

1.12 Decomposição da matéria orgânica

A decomposição da matéria orgânica complexa é apresentada em Lobo (2003) (apud Borba, 2006) como uma série de etapas de degradação anaeróbia que começam pela hidrólise do sólido orgânico, dando origem a polímeros mais simples como proteínas, carboidratos e lipídios. Esses polímeros, por sua vez, são hidrolisados e formam açúcares, aminoácidos e ácidos graxos voláteis de alto peso molecular. Os aminoácidos e açúcares são transformados em produtos intermediários (ácidos voláteis) ou são fermentados produzindo ácido acético, sendo que ambos os casos é gerada amônia. Os ácidos graxos de cadeia longa são decompostos em produtos intermediários e hidrogênio. Os produtos da degradação final são o dióxido de carbono e o metano. A figura 20 resume as etapas de decomposição apresentadas acima (BORBA, 2006).

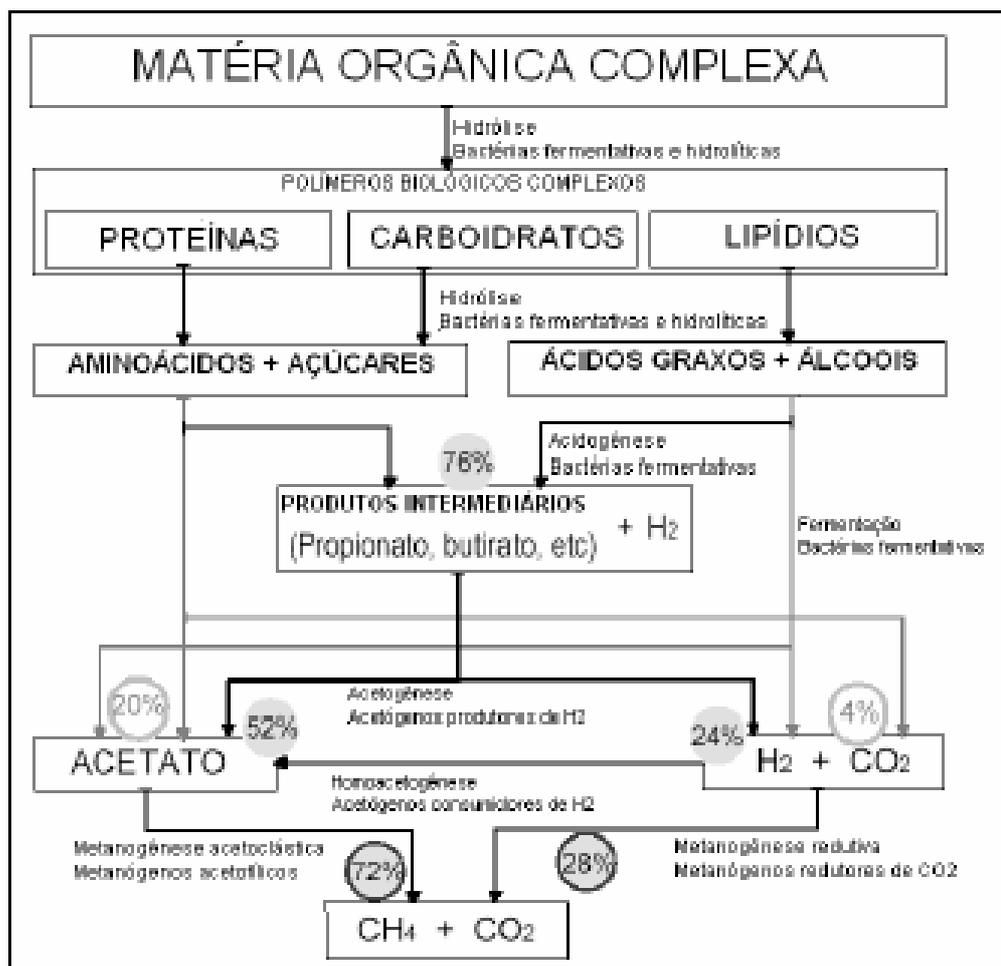


Figura 22 Esquema de reações na digestão anaeróbia de materiais polímeros.

Fonte: BORBA, 2006, p. 02.

1.13 Condições indispensáveis à fermentação

As condições ótimas de vida para os microorganismos anaeróbios são (ENSINAS, 2003):

a) Impermeabilidade ao ar.

Nenhuma das atividades biológicas dos microorganismos, inclusive seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo exige oxigênio.

A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz dióxido de carbono (CO_2); na ausência de ar (oxigênio) produz metano.

b) Temperatura adequada

A temperatura no interior das camadas do aterro afeta sensivelmente a produção de biogás. Todos os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis a alterações de temperatura. Qualquer mudança brusca que exceder a 3°C afeta a produção (ENSINAS, 2003)

c) Nutrientes

Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. (ENSINAS, 2003)

As principais fontes de nitrogênio são as dejeções humanas e de animais, enquanto que os polímeros presentes nos restos vegetais representam os principais fornecedores de carbono.

A produção de biogás não é bem sucedida se apenas uma fonte de material for utilizada (ENSINAS, 2003).

d) Teor de Água

O teor de água deve normalmente situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor da água varia de acordo

com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação (ENSINAS, 2003)

e) Substâncias prejudiciais

Materiais poluentes, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni, são aceitáveis se mantidas abaixo de certas concentrações diluídas em água, por exemplo (ENSINAS, 2003).

1.14 Fases de geração de biogás

Tchobanoglous et al (1997), descrevem a geração de gás em aterros de resíduos em cinco fases, ou quatro se for desconsiderada a segunda, por ser uma fase de transição. Estas fases são ilustradas abaixo no gráfico 1 e descritas logo a seguir (BORBA, 2006).

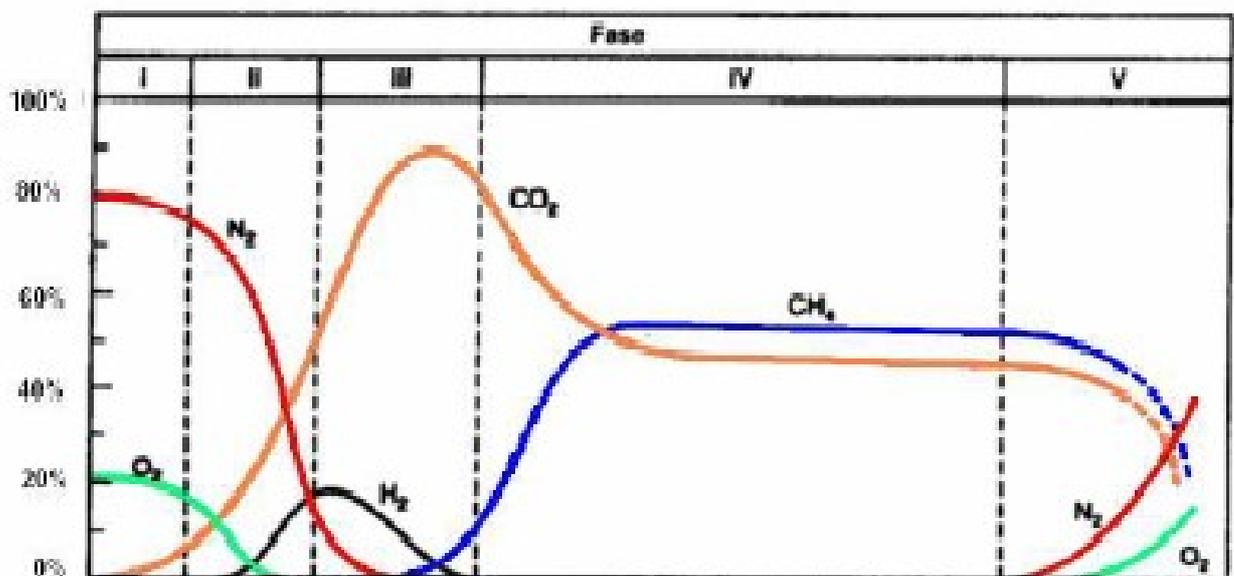


Gráfico 3 Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos.

Fonte: BORBA, 2006, p. 9.

- Fase I: Ajuste inicial. Fase em que os resíduos são depositados no aterro e sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias. A fonte principal de microorganismos aeróbios e anaeróbios, responsável pela decomposição dos resíduos, é o solo empregado na cobertura diária e final. Outras fontes de microorganismos podem ser o lodo de estações de tratamento, depositado em alguns aterros, e a recirculação do chorume. Esta fase, em que a decomposição é aeróbia, se estende por um período de poucos dias após a execução da camada de cobertura, diminuindo a presença de oxigênio.

- Fase II: Transição. Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia. Enquanto o aterro é convertido em anaeróbio, o nitrato e o sulfato, que podem servir como receptores de elétrons em reações de conversão biológica, frequentemente são reduzidos a gás nitrogênio e sulfuro de hidrogênio. O início das condições anaeróbias pode ser verificado através do potencial de oxidação e redução que possui o resíduo. Com a queda do potencial de óxido-redução os microorganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO₂ dentro do aterro.
- Fase III: Ácida. Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. A acidogênese envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético (CH₃COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante a fase III. Também serão produzidas quantidades menores de hidrogênio. Os microorganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias e facultativas. As demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. O pH do chorume, se este é formado, é muito baixo (4 – 5), devido à presença de ácidos orgânicos e pelas elevadas concentrações de CO₂ dentro do aterro. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.
- Fase IV: Metanogênica: Nesta fase de fermentação do metano predominam microorganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH₄ e CO₂. A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase ascenderá a valores na faixa de 6,8 a 8,0. A seguir o pH continuará subindo e serão reduzidas as concentrações de DBO₅, DQO e o valor da condutividade do

chorume. Com valores mais elevados de pH, menos constituintes inorgânicos permanecerão dissolvidos, tendo como consequência a redução da concentração de metais pesados no chorume.

- Fase V: Maturação. Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em CH_4 e CO_2 durante a fase metanogênica. Como a umidade continua migrando pela massa de lixo, porções de material biodegradável até então não disponíveis acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

A duração de cada fase de geração de gás variará conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a passagem de umidade pelo aterro e o grau de compactação inicial (BORBA, 2006, p. 11)

Em condições normais, a velocidade de decomposição, medida através da produção de gás, chega a um máximo nos dois primeiros anos e logo decresce lentamente por 25 anos ou mais. Porém, as fases de um aterro não podem ser claramente definidas, já que novos resíduos são dispostos diariamente. Desta forma, enquanto alguns locais com resíduos novos estão passando pela fase aeróbia, outros locais com resíduos mais antigos estão passando por fases de geração de metano (BORBA, 2006, p. 11). A possibilidade da utilização deste gás para geração de energia elétrica, pode ser avaliada uma vez que o biogás apresenta concentrações iniciais de metano em torno de 40% (alguns meses após o aterramento), estabilizando-se em valores em torno de 60 a 65% (cerca de um a dois anos após aterramento) (ENSINAS, 2003).

1.15 Exemplo de estimativa de Geração de Biogás em Aterros Sanitários.

Uma das metodologias mostradas pela United States Environmental Protection Agency - USEPA para calcular os gases emitidos pela degradação de Resíduos Sólidos em aterros destinada a sistemas de disposição sem controle será apresentada.

Para o tipo de disposição sem controle é apresentada a equação cinética de primeira ordem (1) com a qual podem ser calculadas as emissões de metano. Esta metodologia foi publicada pela USEPA ("Emission factor documentation for AP-42 section 2.4. Municipal

Solid Waste Landfills”) e tem como base a estimativa direta das emissões de metano a partir de um modelo (Land-Gem: Landfill Gas Emission Model) (BORBA, 2006, p. 19).

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * (e^{-k.c} - e^{-k.t})$$

Em que:

Q_{CH_4} = Metano gerado no ano t, (m³/ano).

L_0 = Potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado, (m³ CH₄ / t resíduo).

R = Média anual de entrada de lixo no vazadouro, (t/ano).

k = taxa de geração de metano, (ano⁻¹).

c = anos desde o fechamento, c = 0 para os ativos, (ano).

t = anos desde o início da atividade, (ano).

Na Tabela 3 abaixo são apresentados os valores que, na ausência de dados, são propostos pela EPA para os coeficientes k e L_0 .

Tabela 3 Valores de K e L0 propostos pela USEPA.

PLUVIOMETRIA ANUAL	> 635 mm	< 635 mm
k	0,04	0,02
Lo	100 m ³ /t	100 m ³ /t

Fonte: BORBA, 2006, p. 19.

Os diferentes fatores k, influenciam na intensidade de geração de biogás, quanto maior a porcentagem de matéria orgânica maior o k e maior a velocidade de produção de metano pelo aterro. (Alves 2000, p. 90)

Se não se conhece R, média anual de entrada de lixo, o mesmo pode ser estimado da seguinte forma:

R = Capacidade do vazadouro/nº. anos em funcionamento.

Capacidade = área do vazadouro - * altura da pilha * - densidade do lixo.

Se a densidade do resíduo não for conhecida, ela pode ser estimada, utilizando a Tabela 4 a seguir, segundo Borba (2006, p. 20).

Tabela 4 Estimação da densidade do Lixo Depositado

TIPO DE COMPACTAÇÃO	DENSIDADE ((kg/m ³))
LIXO COMPACTADO	635 - 831 (MÉDIA 742)
LIXO DEGRADADO COMPACTADO	1.009 - 1.127 (MÉDIA 1.068)
SEM DADOS	688

Fonte: BORBA, 2006, p. 20.

A equação (1) foi concebida inicialmente para estimar a geração de metano e não para estimar emissões, pois parte do metano em sua migração para a atmosfera é captado e degradado nas camadas mais superficiais do terreno. Entretanto, dada a dificuldade em avaliar as emissões, adotando um critério conservador, considera-se que todo o metano gerado é emitido à atmosfera através de fissuras ou vias de evacuação praticadas no terreno (BORBA, 2006, p. 20). Um exemplo do resultado de estudos similares de geração de biogás em aterros sanitários, como no aterro sanitário Lara é a apresentação do Gráfico 4.



Gráfico 4 Estimação Geração de Gás Metano no Aterro Sanitário Lara.

Fonte: Arquipélago Ambiental Engenharia Ambiental, 2008.

A eficiência do sistema de captação não são 100% efetivos, desta forma, parte do biogás gerado é emitido à atmosfera diretamente. Se este dado for desconhecido será utilizado o valor que sugere a USEPA (1998) de 75% de eficácia de captação (BORBA, 2006, p. 21).

IMPACTOS GERADOS PELO BIOGÁS

O biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar (BRITO FILHO, 2005).

Os gases produzidos nos aterros sanitários, quando não capturados e conduzidos para combustão em queimadores (Flares) para geração de energia elétrica ou mesmo para aquecimento de caldeiras, ainda são queimados em drenos verticais, de maneira incipiente, lançando poluentes na atmosfera (IBAM, 2008).



Figura 23 Vista do Dreno Vertical Queimando Biogás

Fonte: Delbin, 2004.

1.16 Odor Gerado pelo Biogás.

O odor é um subproduto resultante da decomposição incompleta da matéria orgânica. Quando as células morrem, elas atraem as bactérias, as quais "quebram" as células do tecido

morto, de modo que este possa, então, ser reciclado por um processo natural conhecido como decomposição, produzindo gases, como H₂S, com odor desagradável ou irritante ao seres humanos (GLOTEC, 2008).

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre. Esta característica olfativa é uma problemática pelo incomodo à sociedade vizinha de um aterro sanitário

Contudo alguns aterros sanitários implantam desodorizadores como em um aterro no Reino Unido que recebe inevitavelmente resíduos odoríferos, o mau cheiro era realmente insuportável. Para solucionar o problema e manter boas relações com a vizinhança, no aterro foi instalado um sistema de desodorização temporário, que satisfizesse os residentes. Logo em seguida, quando o sistema se provou bem sucedido, implantou-se um sistema perimetral permanente, capaz de neutralizar os odores indesejáveis (AIRSPECTRUM, 2008).

1.17 Efeito Estufa.

O Efeito Estufa consiste, basicamente, na ação do dióxido de carbono e outros gases sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. Ao irradiarem a Terra, partes dos raios luminosos oriundos do Sol são absorvidos e transformados em calor, outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora que os chamados "Gases de Efeito Estufa", GEE, (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos – CFCs - e óxidos de azoto) têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos (SCHIEL, 2008).

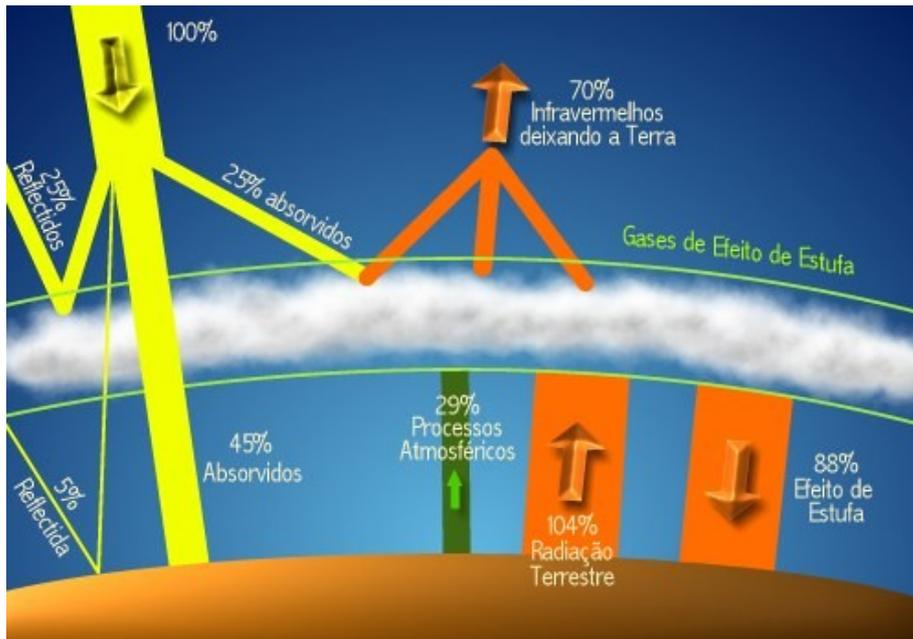


Gráfico 5 Efeito Estufa.

Fonte: Schiel, 2008.

Desde a época pré-histórica que o dióxido de carbono tem tido um papel determinante na regulação da temperatura global do planeta. Com o aumento da utilização de combustíveis fósseis (Carvão, Petróleo e Gás Natural) a concentração de dióxido de carbono na atmosfera duplicou nos últimos cem anos. Neste ritmo e com o abatimento massivo de florestas que se tem praticado (é nas plantas que o dióxido de carbono, através da fotossíntese, forma oxigênio e carbono, que é utilizado pela própria planta) o dióxido de carbono começará a proliferar levando, muito certamente, a um aumento da temperatura global, o que, mesmo tratando-se de poucos graus, levaria ao degelo das calotas polares e a grandes alterações a nível topográfico e ecológico do planeta (SCHIEL, 2008).

A concentração de outros gases que contribuem para o Efeito de Estufa, tais como o metano e os clorofluorcarbonetos também aumentaram rapidamente. O efeito conjunto de tais substâncias pode vir a causar um aumento da temperatura global ([Aquecimento Global](#)) estimado entre 2 e 6 °C nos próximos 100 anos. Um aquecimento desta ordem de grandeza não só irá alterar os climas em nível mundial como também irá aumentar o nível médio das águas do mar em, pelo menos, 30 cm, o que poderá interferir na vida de milhões de pessoas habitando as áreas costeiras mais baixas (SCHIEL, 2008).

As últimas décadas têm sido um período de reflexão em nível internacional sobre o meio ambiente. O que nós estamos fazendo com o nosso planeta? Cada vez mais nós nos damos conta de que a Revolução Industrial mudou para sempre a relação entre o homem e a natureza. Há a

preocupação crescente de que em meados, ou no final do século 21, as atividades do homem terão mudado as condições básicas que possibilitaram o aparecimento de vida sobre a Terra. (MCT, 2009)

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de 1992 faz parte de uma série de acordos recentes por meio dos quais países do mundo inteiro estão se unindo para enfrentar esse desafio. Outros acordos tratam de questões como a poluição dos oceanos, a degradação da terra, danos na camada de ozônio e a rápida extinção de espécies animais e vegetais. A Convenção sobre Mudança do Clima enfoca um problema especialmente inquietante: nós estamos mudando a forma com que a energia solar interage com a atmosfera e escapa dela. Fazendo isso, nós corremos o risco de alterar o clima global. Entre as conseqüências possíveis, estão um aumento na temperatura média da superfície da Terra e mudanças nos padrões climáticos mundiais. Outros efeitos, ainda imprevisíveis, não podem ser descartados. (MCT, 2009)

Abaixo segue uma planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos.

Tabela 5 Planilha com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20,100 e 500 anos.

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizontal de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	
Metano	CH ₄	12+/-3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Ozônio	O ₃	0.1-0.3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC-23	CHF ₃	264	9	11700	9800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.6	2	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3.7	490	150	45
HFC-23-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1.5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3.8	1000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700
HFC-145ca	C ₃ H ₃ F ₅	6.6	1800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	SF ₆	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	CF ₄	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	3200	6000	0.87	12700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	3200	5000	7400	10700

Fonte: CETESB, 2008.

O [IPCC](#) (Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, estabelecido pelas Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988) no seu relatório mais recente diz que a maior parte deste aquecimento, observado durante os últimos 50 anos, se deve muito provavelmente a um aumento dos [gases do efeito estufa](#) na atmosfera conforme Gráficos 6 e 7.

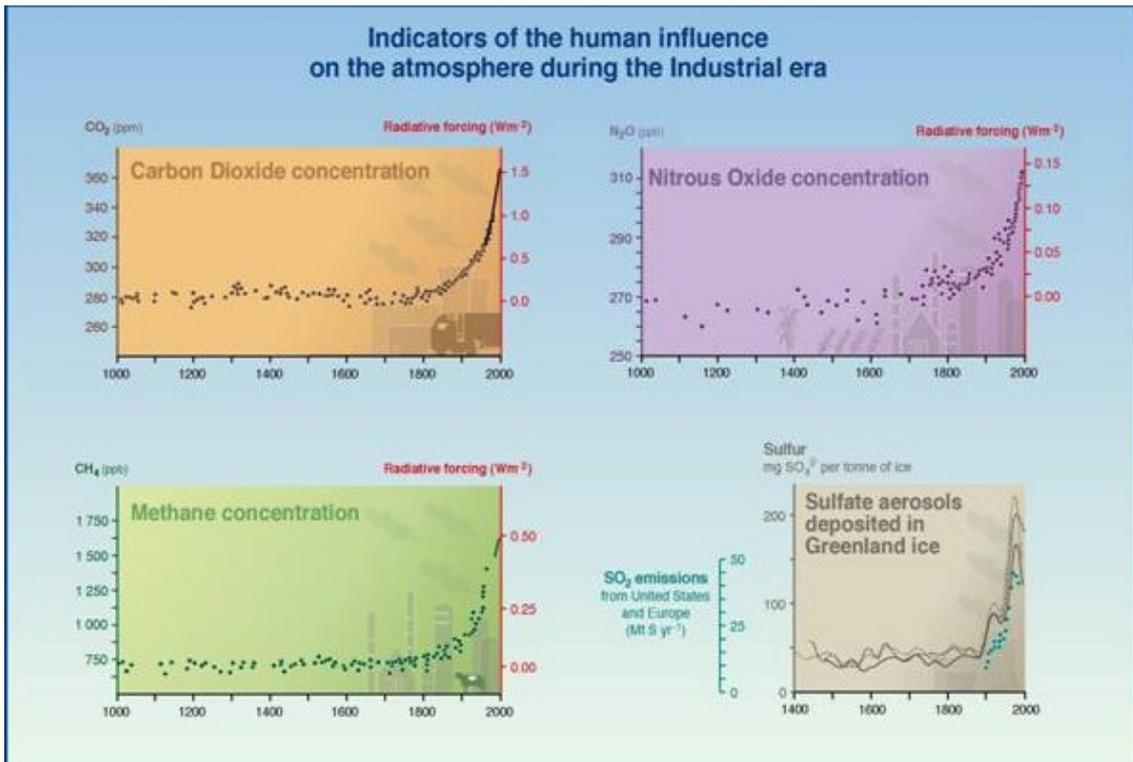


Gráfico 6 Indicadores da influencia humana durante a era de industrialização.
Fonte: IPCC, 2008.

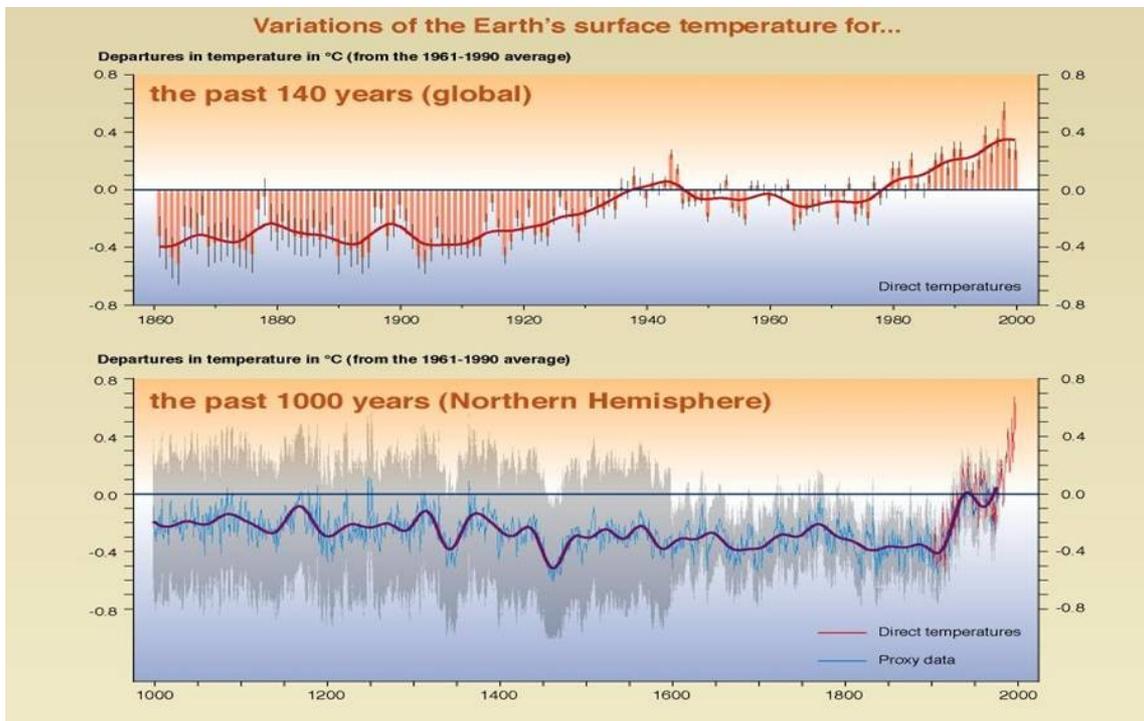


Gráfico 7 Variações da temperatura superficial da Terra.

Fonte: IPCC, 2008.

Durante a decomposição anaeróbia da matéria orgânica nos aterros sanitários é liberado o gás metano que é um potente gás de efeito estufa, com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂ num período de 100 anos. Seu ciclo de vida na atmosfera é de aproximadamente 12 anos, sendo o 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância, pois responde por aproximadamente 18% de toda a pressão sobre o clima como é indicado em gráfico abaixo (CETESB, 2008).

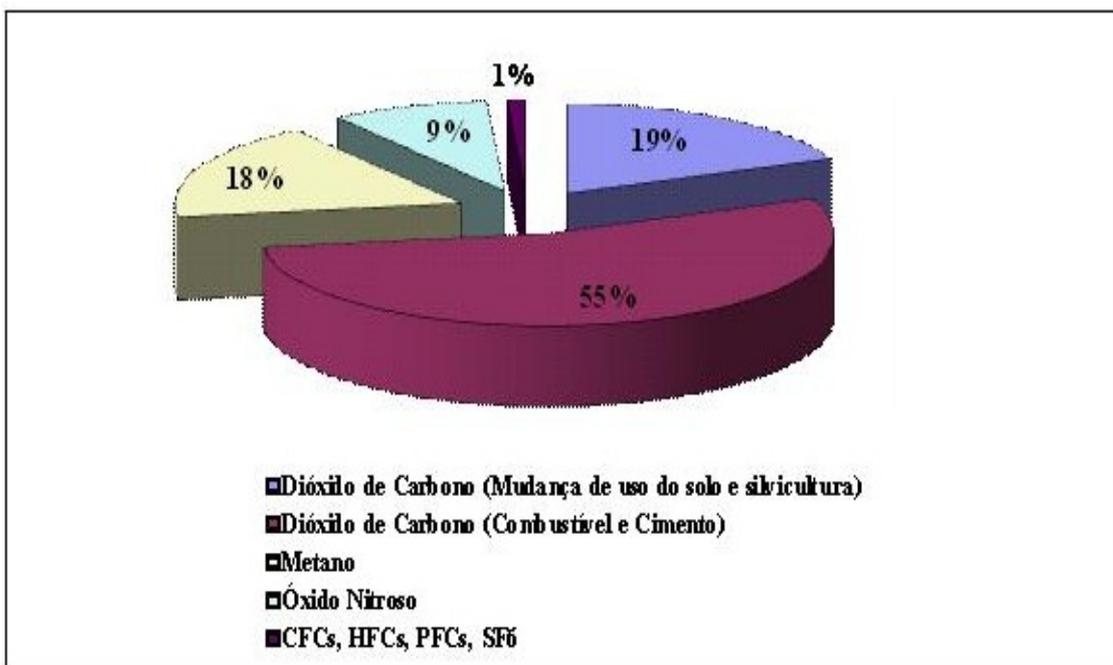


Gráfico 8 Disseminação de gás – Efeito Estufa.

Fonte: USEPA, 2006.

Emissões de CH₄ resultam de diversas atividades, incluindo aterros sanitários, tratamento de esgoto, sistemas de produção e processamento de petróleo e gás natural, atividades agrícolas, mineração de carvão, queima de combustíveis fósseis, conversão de florestas para outros usos e alguns processos industriais. (Comunicação Inicial do Brasil, 2004)

Os Aterros Sanitários são a 3º maior fonte mundial de emissões antrópicas de Gases do Efeito Estufa respondendo por cerca de 13% desta como é indicado em gráfico 7 abaixo (USEPA, 2008).

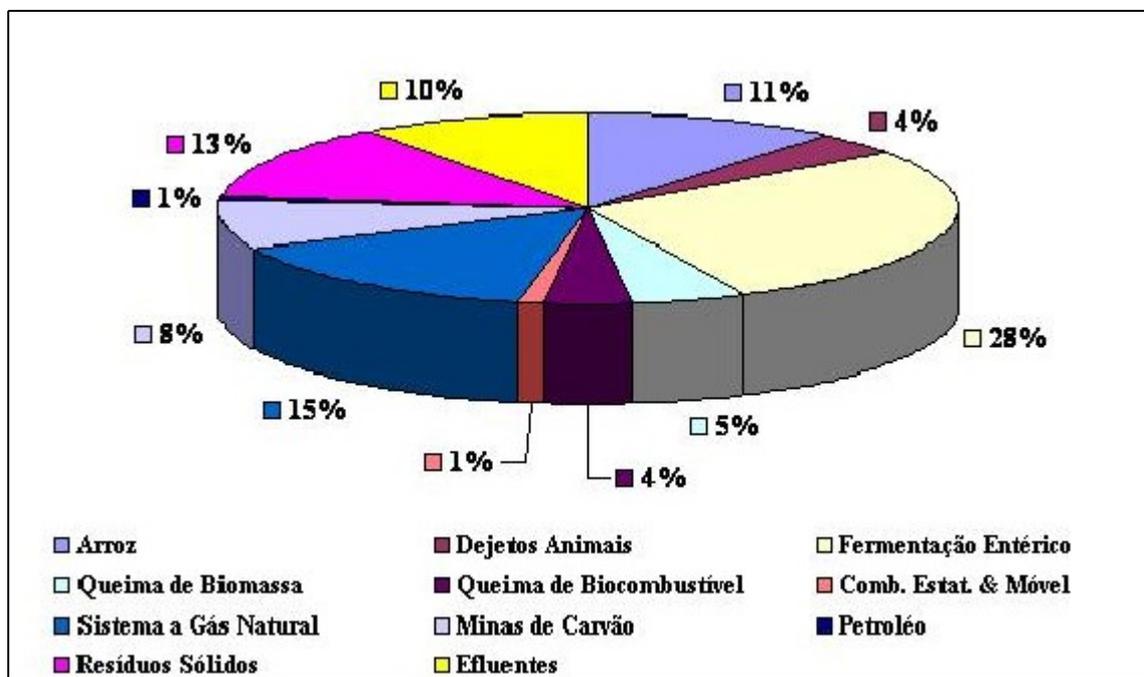


Gráfico 9 Emissões de Metano.

Fonte: USEPA, 2006.

Abaixo, segue um panorama mundial de emissões de gás metano de aterros sanitários (USEPA, 2008).

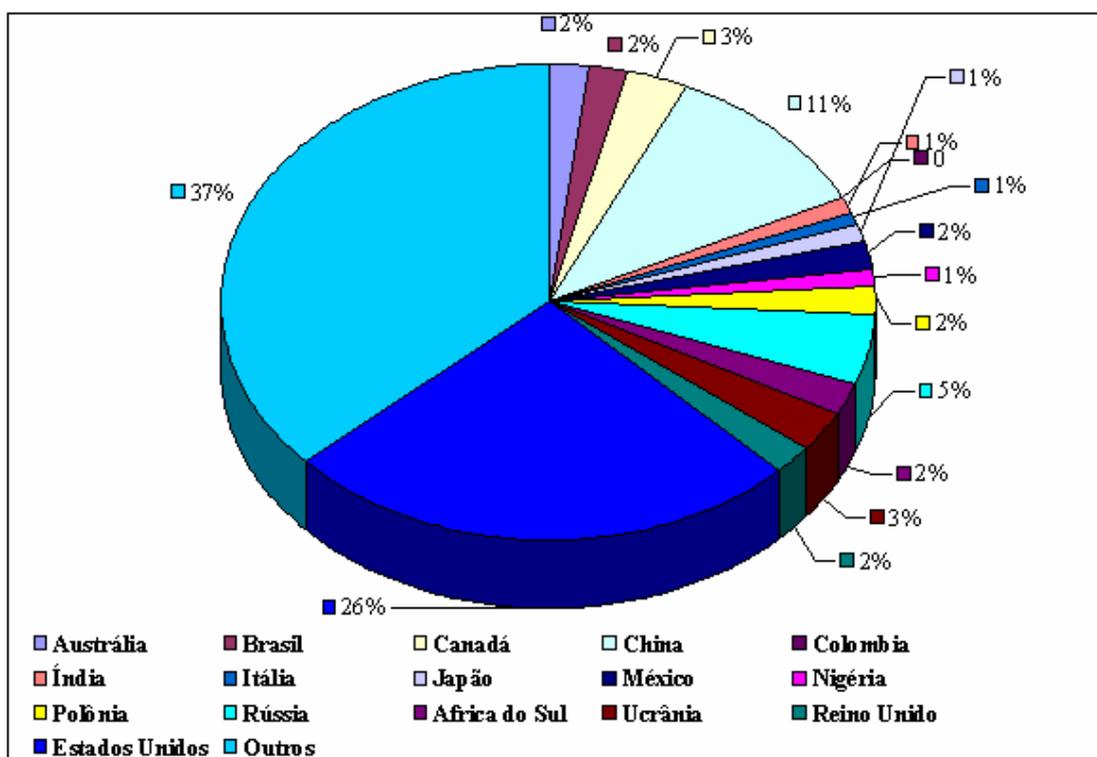


Gráfico 10 Panorama mundial de emissões de gás metano de Aterros Sanitários.

Fonte: USEPA, 2006.

O maior gerador de Metano de aterros sanitários é os Estados Unidos representando 26% de toda emissão, estando a China em 2º lugar representando 11% de toda Emissão e o Brasil representando 2 % de toda Emissão (USEPA, 2008).

No Brasil, o setor Agropecuário é o maior responsável pelas emissões de CH₄ (77% em 1994), sendo a principal emissão decorrente da fermentação entérica (eructação) do rebanho de ruminantes, quase toda referente ao gado bovino, o segundo maior rebanho do mundo. As emissões anuais de metano associadas a fermentação entérica foram estimadas em 9,4 Tg, 92% do total das emissões de metano do setor agropecuário. Os 8% restantes resultam do manejo de dejetos animais, da cultura de arroz irrigado e da queima de resíduos agrícolas. As emissões do setor aumentaram 7% no período de 1990 a 1994, devido, predominantemente, ao aumento do rebanho de gado de corte. (Comunicação Inicial do Brasil, 2004)

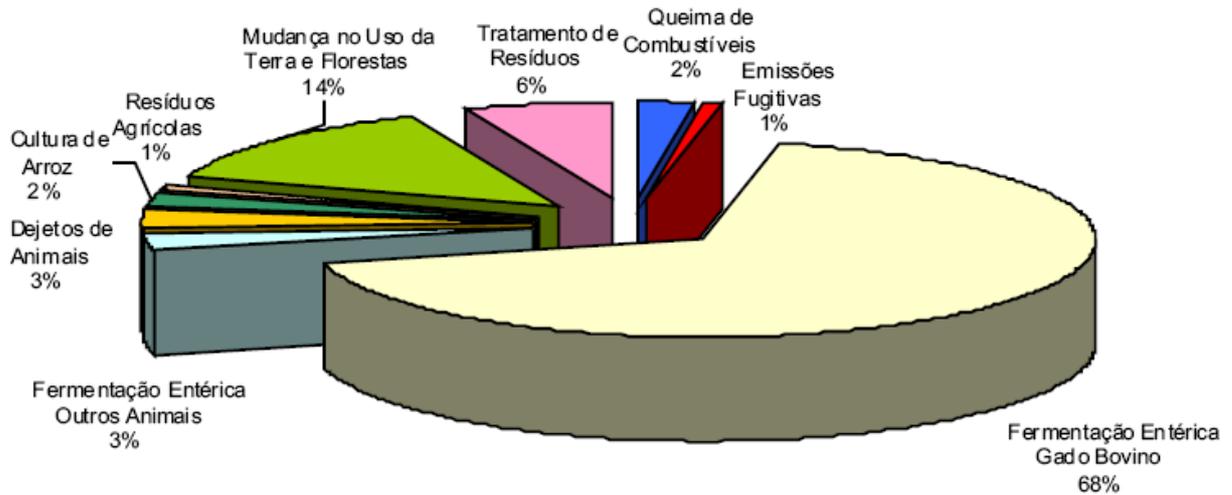


Gráfico 11 Emissões de metano por setor brasileiro em 1994

Fonte: Comunicação Inicial do Brasil, 2004.

O setor de mudanças no Uso da Terra e Floresta, as emissões ocorrem pela queima da biomassa nas áreas de desflorestamento representando 14% do total das emissões de metano apresentando a segunda maior fonte de emissão de metano em 1994. (Comunicação Inicial do Brasil, 2004)

As emissões do setor de Tratamento de Resíduos representaram 6% do total das emissões de metano em 1994, sendo a disposição de resíduos sólidos responsável por 84% desse valor. No período de 1990 a 1994, as emissões de metano do setor de Tratamento de Resíduos aumentaram 9% apresentando a terceira maior fonte de emissão de metano. (Comunicação Inicial do Brasil, 2004)

PROPOSTA PARA ANÁLISES PRELIMINARES DE PROJETO DE CAPTURA DE BIOGÁS

6.1 Introdução

Decidido implantar sistema de captura e condução de Biogás, uma proposta para análise preliminar de projeto para captura de biogás, como realizado no aterro sanitário CDR Pedreira, é a análise de coloração de chama de combustão de drenos verticais, pois de forma geral, a disposição de resíduos orgânicos ocorre heterogenicamente. Contudo a produção de biogás também resulta de forma heterogenia apresentando diferentes colorações de chama devida composição e idade dos resíduos depositados.

Este diagnóstico só é possível quando um aterro sanitário, como o Aterro Sanitário CDR Pedreira que apresenta históricos de deposição e disposição dos resíduos recebidos.

Com esta análise pode ser possível descartar regiões onde não apresenta queima de Biogás nos drenos verticais, verificando se realmente a região onde não apresenta combustão e quando o resíduo depositado na região avaliada não apresenta características orgânicas.

6.2 Análise das colorações da chama de queima de Biogás

A combustão é a reação do gás metano contido no biogás com o oxigênio do ar e que neste caso, a partir dessa queima completa são produzidas duas substâncias: o gás carbônico e a água. Estes produtos finais possuem uma energia extremamente reativa e que ao perderem parte dessa energia, eles emitem uma luz, que é a cor da chama que vemos sair de drenos verticais de um aterro sanitário.

Quando a chama de alguns drenos verticais sai com cor azul, está ocorrendo uma combustão completa, ou seja, nesse caso, está havendo um balanceamento entre combustível e o oxigênio, o que significa que há combustível, gás metano, suficiente para reação de combustão em relação ao oxigênio que é o comburente.



Figura 24 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Azul
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Se a chama de alguns drenos verticais sai com cor amarela ou vermelha, não está ocorrendo uma combustão completa, ou seja, nesse caso, está havendo um desbalanceamento entre combustível e o oxigênio, o que significa que há combustível, gás metano, insuficiente para reação de combustão em relação ao oxigênio que é o comburente.



Figura 25 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Amarela
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.



Figura 26 Chama de Biogás de Aterro Sanitário cor Vermelha
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Estas análises de cores de chama de combustão do biogás é melhor observado durante um período noturno, pois a chama de cor azul é melhor observada e também se identificam melhor as cores amarelas e avermelhadas.

Também é importante que seja observado com grande importância drenos que estejam sempre apagados, sem fogo, e também sejam mapeados para uma análise mais criteriosa dos resíduos sob a região do dreno não comburente.

Observadas as cores de chamas dos drenos verticais, mapeiam-se durante um período estas cores de chama por diferentes condições climáticas relacionando dias secos, ter ocorrido chuvas por uma semana, mapeia-se logo após dias que ocorreram uma seqüência de chuvas durante uma semana e também é aconselhado mapear as cores de chama durante um período de temperaturas mais amenas.

Após mapeadas as cores de chamas dos drenos verticais, pelo menos um mapeamento dos drenos das hipóteses mencionadas acima, executa-se uma planta do aterro sanitário indicando as cores que se repetem durante os períodos e as cores de mais baixa influência, ou seja, se em um mapeamento foi considerado cor azul e em um outro mapeamento foi considerado cor amarela, na planta final o dreno será indicado com cor amarela.

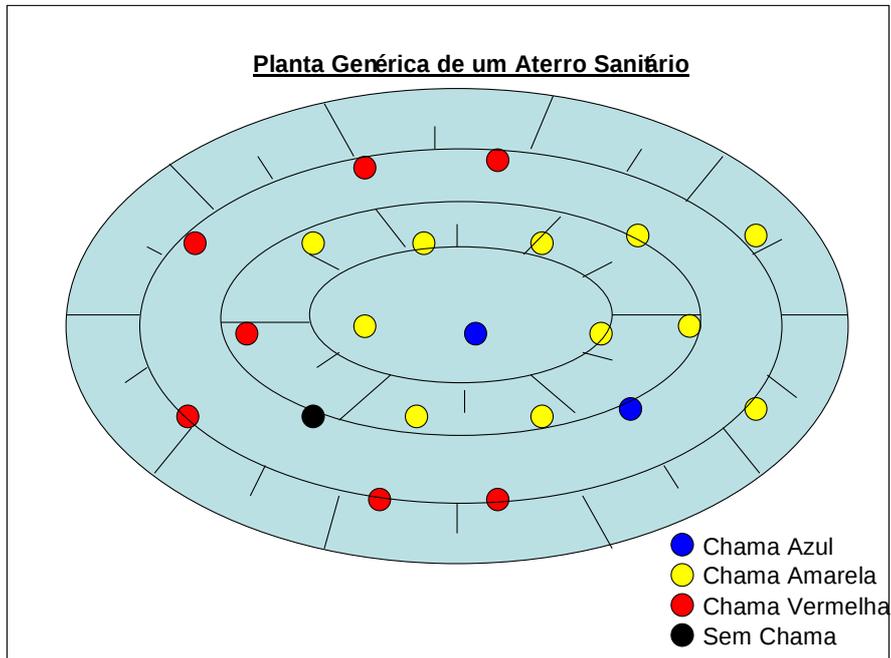


Figura 27 Croqui de Cores de Chamas de Drenos Verticais

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Esta metodologia para analisar a qualidade do biogás pelas cores de chama da combustão, somente poderá ser adotada quando os drenos forem comuns entre si, ou seja, não poderão ser de diferentes modelos, concreto e Poli Etileno de Alta Densidade no mesmo aterro sanitário. Também não podem apresentar diferentes diâmetros entre si, pois muda a concepção de drenagem dos gases, podendo resultar em diferentes cores de chama pela diferença das concentrações do combustível.

6.3 Análise da Composição Química do Condensado de Biogás

Após executada a planta com as cores de chama, determina-se três drenos verticais de biogás onde apresentam diferentes cores entre si, por exemplo, uma chama azul, uma chama amarela e uma chama vermelha para instalação de um condensador expedito de Biogás.

Determinados os drenos, seguem abaixo algumas ilustração deste condensador expedito.

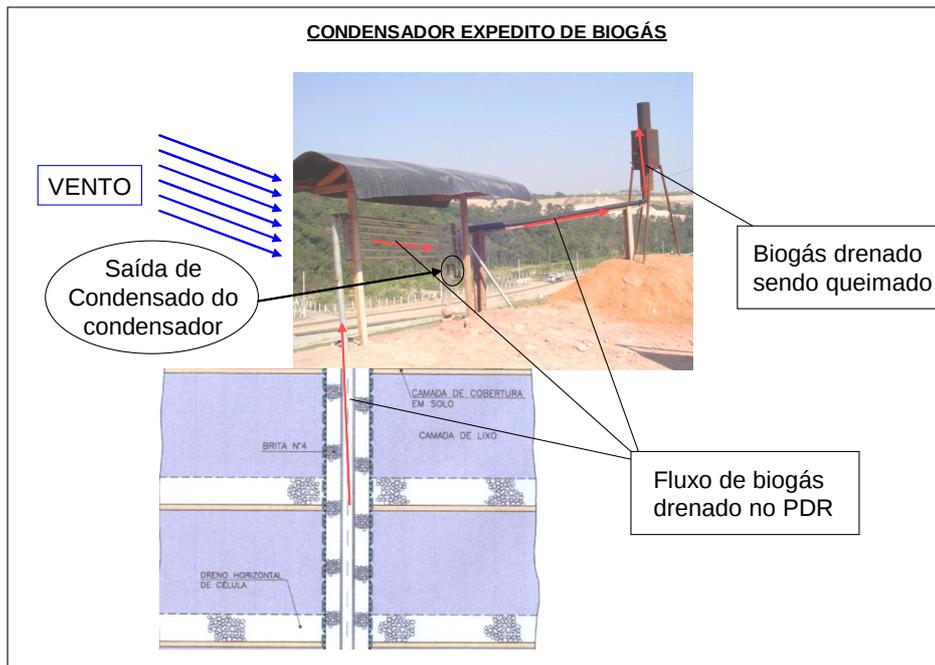


Figura 28 Condensador expedito de biogás.
 Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

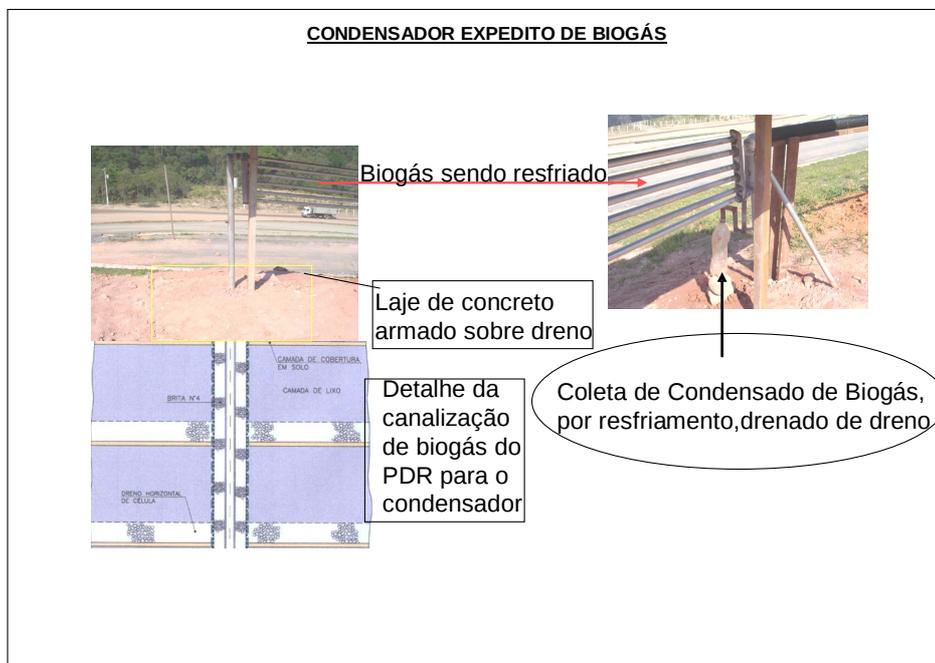


Figura 29 Produção de Condensado de Biogás em Condensador Expedito.
 Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.



Figura 30 Coleta de Condensado de Biogás do Condensador Expedito.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

A metodologia de coleta do condensado de biogás será apresentada pelo responsável de um laboratório químico para uma análise completa deste líquido condensado pelo condensador expedito. O percolado do biogás não apresenta qualquer coloração, é transparente, mas o cheiro predominante é de alho com ovo podre e muito forte. Abaixo segue uma tabela de análise química do condensado.

Tabela 6 Análise Química de Condensado.
BOLETIM DE EXAMES DE ÁGUA RESIDUÁRIA

CLIENTE	CDR PEDREIRA CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESIDUOS LTDA.
ENDER EÇO	Av. Pres. Juscelino Kubitschek, 1830 - 1º Andar.
MUNICÍPIO	São Paulo - SP
COLETOR	TCA

LOCAL DA COLETA	Condensado do PDR.						
Data e hora da Coleta	22/09/06		DATA DE ENTRADA NO LABORATÓRIO				22/09/06
Chuvas nas Últimas	sim		não		Temperatura	Amost	Ar

PARÂMETRO	RESULTADO	L.D.	V.M.P	UNIDADE	EXPRESSO
Alcalinidade Bicarbonato	X	x	-	mg/L	CaCO ₃
Alcalinidade Carbonato	Y	y	-	mg/L	CaCO ₃
Alcalinidade Hidróxido	z	z	-	mg/L	CaCO ₃
Condutividade	x	x	-	µS/cm	-
Calcio	y	y	-	mg/L	Ca
Dureza Total	z	z	-	mg/L	CaCO ₃
Ferro Total	x	x	-	mg/L	Fe
Ferro Solúvel	y	y	-	mg/L	Fe
Fenol	z	z	-	mg/L	C ₆ H ₅ OH
Magnésio	x	x	-	mg/L	Mg
Manganês Total	y	y	-	mg/L	Mn
Manganês Solúvel	z	z	-	mg/L	Mn
Sílica	x	x	-	mg/L	SiO ₂
Óleos e Graxas	y	y	-	mg/L	O ₂
Sólidos Suspensos Totais	z	z	-	mg/L	-
Sólidos Sedimentáveis	x	x	-	mg/L	-
Sulfeto	y	y	-	mg/L	S
Salinidade	z	z	-	mg/L	-
SO ₂	x	x	-	mg/L	-
SO ₃	y	y	-	mg/L	-
pH (Laboratório)	z	z	-	UpH	-

Observações

Métodos de análises baseados na 20ª edição "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" – APHA – AWWA – WEF.
 ND Não Detectado.
 VMP (Valor Máximo Permitido Pela Legislação) = LD (Limites de Detecção)

Fonte: TCA 2006.

Esta análise química serve para saber se os componentes que serão instalados não sofrerão ataques químicos quando instalados pelo biogás.

6.4 Estudo da Geração de Biogás por Volume de Influência

Em um estudo preliminar mais aprofundado em um aterro sanitário é o volume de influência de resíduos sólidos que geram biogás para cada dreno individualmente, cruzando com as cores da chama com os estados das drenagens horizontais.

Para tal metodologia é seguida das seguintes fases:

Fase I- Similarmente a forma de isoietas, divide-se as áreas de influência de cada dreno vertical na planta de um aterro sanitário como segue a ilustração abaixo:

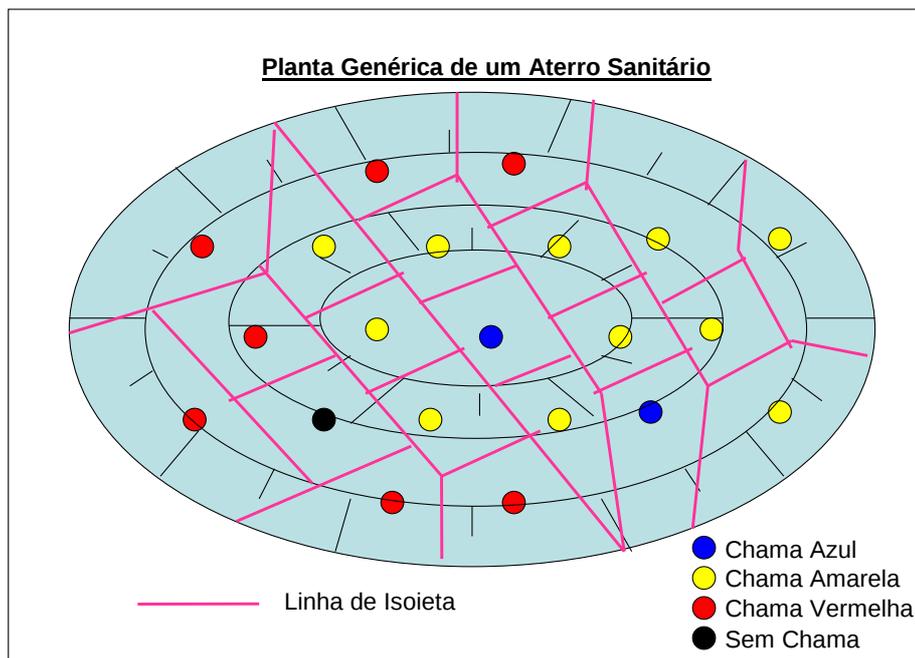


Figura 31 Croqui de Áreas de influência de drenos Verticais.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2006.

Fase II- Após definidas as áreas de influência de cada dreno vertical, multiplica-se esta área encontrada pela altura com a cota de implantação de um dreno vertical até a cota do topo do dreno vertical conforme ilustração abaixo:

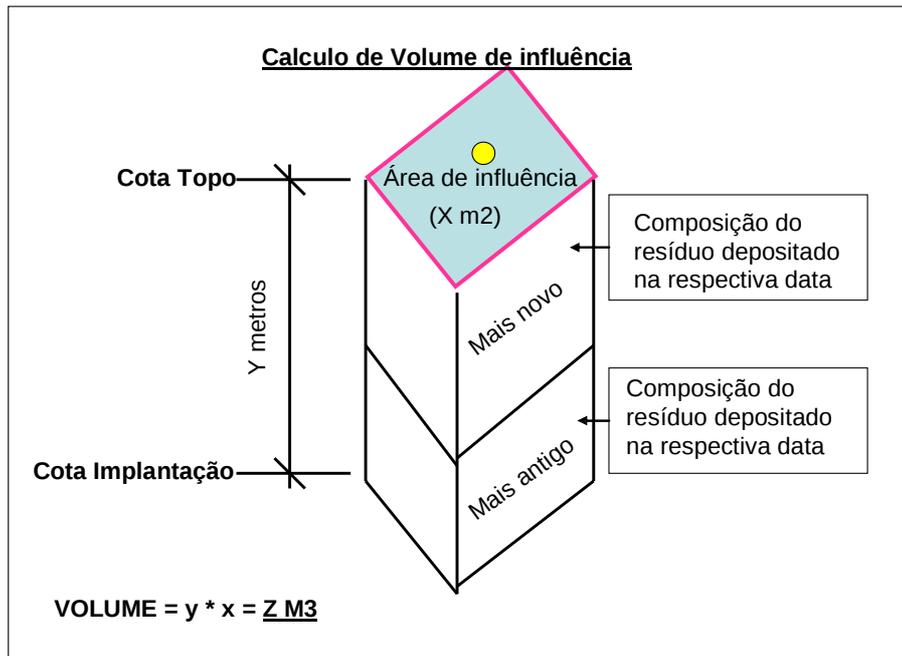


Figura 32 Croqui de Volume de influência de drenos Verticais.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Fase III- Assim calculado o volume de influência e identificado através de levantamentos dos resíduos depositados, segue a projeção de geração de Biogás unitariamente por dreno vertical. Contudo se os drenos apresentarem uma correlação entre a matéria orgânica depositada com sua cor de chama, as drenagens estão em bom estado, podendo-se executar a sucção do biogás nos próprios drenos verticais, sem a implantação de drenos adjacentes.

DIMENSIONAMENTO E PROJEÇÃO DE LINHAS DE BIOGÁS

1.18 Material das Tubulações condutoras de Biogás.

1.18.1 Materiais Metálicos

Para utilização de materiais metálicos seguem as seguintes indicações que não são muito favoráveis a este tipo de utilização, segundo a Landtec (2006, p. 137):

- Aço Inoxidável 304 SS ou 316 SS que apresentam custos elevados.
- Aço-Carbono que normalmente o Biogás e seu condensado podem ser corrosivos necessitando de revestimentos internos.
- Ferro, Bronze, cobre, alumínio apresenta alto impacto corrosivo.

1.18.2 Materiais Plásticos

A utilização de materiais plásticos, apresenta melhor utilização neste aspecto, pois apresentam menores ataques químicos gerado pelo Biogás aos materiais metálicos. (LANDTEC, 2006, p. 136).

- PVC é um material mais econômico em relação a todos os materiais metálicos, mas em relação à exposição solar e à flexibilidade o Poli Etileno se apresenta mais vantajoso.

1.18.2.1 Poli Etileno de Alta Densidade

A desvantagem apresentada pelo Poli Etileno de Alta Densidade é a expansão Térmica que, grosso modo, se expande a uma taxa de vinte vezes mais que o aço e três vezes mais que o PVC. (LANDTEC, 2006).

Os coeficientes de expansão térmica linear dada para o aço-carbono, PVC e PEAD foram definidos como 0,0000065 (aço), 0,000030 a 0,000035 (PVC) e 0,00008 a 0,00012 (PEAD) respectivamente em polegadas por grau Fahrenheit (LANDTEC, 2006).

Os Tubos de Poli Etileno de Alta Densidade, PEAD, apresentam as seguintes vantagens:

- As tubulações são flexíveis e constituídos de material visco elástico, de maneira que os métodos de dimensionamento usados para tubos rígidos (concreto, fibro - cimento,

cerâmica e ferro fundido) ou para tubos elásticos (aço) não são diretamente aplicáveis. (DANIELETTO, 2007, p. 123).

- Em ensaio de compressão diametral, um Tubo de Poli Etileno de Alta Densidade não rompe. Com o aumento da compressão, o Tubo deforma mais e mais, de modo que o teto do tubo, curvado para dentro, chega a tocar no fundo, que se a curvatura para cima. Tudo isso sem que ocorram trincas no tubo. (DANIELETTO, 2007, p. 123).

- As tubulações e conexões pretas, a matéria prima do Poli Etileno de Alta Densidade é composta com (2,5 +/- 0,5) % de negro de fumo, estabilizantes e antioxidantes assegurando grande resistência à exposição aos raios ultravioletas, dispensando cuidados especiais à exposição ao sol (DANIELETTO, 2007, p. 337).

Por estes motivos o material mais indicado é o Poli Etileno de Alta Densidade em cor preta.

1.19 Pressão solicitada nas linhas de Biogás

Após estudadas as viabilidades de projeto e a proposta de compra de sopradores, são apresentadas as vazões e as pressões que os sopradores irão trabalhar durante a captura do biogás de um Aterro Sanitário durante os anos. Abaixo seguem três exemplos de sopradores utilizados para captura de biogás.



Figura 33 Vista de Blower utilizado no aterro sanitário Bandeirantes
Fonte: DELBIN, 2004.



Figura 34 Vista de Blower utilizado no aterro sanitário CDR-Pedreira
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.



Figura 35 Vista de Blower utilizado no aterro sanitário Lara
Fonte: LARA, 2008.

Decidida a aquisição do Blower, verifica-se qual pressão negativa que o equipamento irá solicitar as linhas de condução de Biogás, pois se mal dimensionada estas linhas de condução, corre-se o risco da linha entrar em colapso. Se decidida a execução das linhas de biogás em Poli Etileno de Alta Densidade designa-se de colapso a deformação em forma de rim da seção transversal do tubo quando sujeito a vácuo (DANIELETTO, 1990, p. 153).

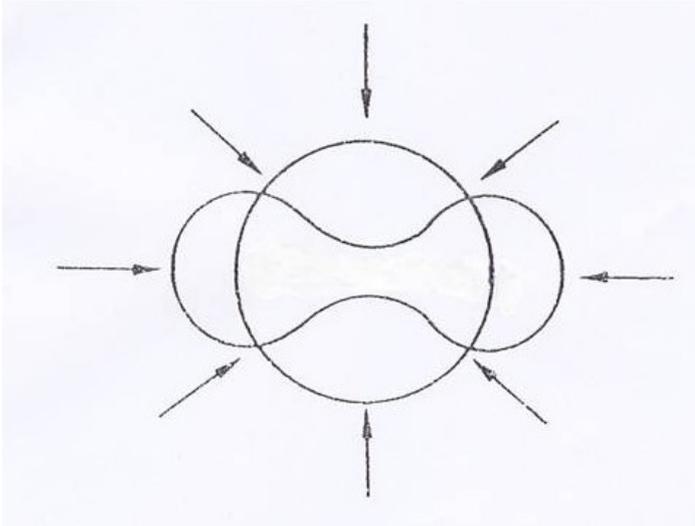


Figura 36 Clapso em tubulações de PEAD

Fonte: DANIELETTO, 1990, p. 153.

1.20 Determinação da classificação da Tubulação de PEAD

Para a escolha da classificação da pressão da tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade que deverá ser selecionada, segue abaixo uma tabela de carga de colapso permitida em bar:

Tabela 7 Tabela de carga de colapso permitida em bar.

Diferença de pressão permitida entre a pressão externa e interna do tubo (bar)					
VIDA ÚTIL (anos)	PEAD				
	Tubos conforme DIN 8074-part I				
	PN 2.5	PN 3.2	PN 4	PN 6	PN 10
1	0.08	0.17	0.32	1.15	4.65
10	0.07	0.14	0.25	0.90	3.80
50	0.06	0.12	0.21	0.80	3.25
1	0.06	0.12	0.23	0.81	3.60
10	0.05	0.10	0.20	0.61	3.05
1	0.05	0.10	0.19	0.68	2.85
10	0.04	0.08	0.16	0.52	2.50
1	0.03	0.07	0.14	0.43	2.10
10	0.03	0.06	0.13	0.40	1.95
1	0.02	0.05	0.10	0.32	1.75
10	0.02	0.05	0.09	0.29	1.50
1	0.02	0.04	0.09	0.26	1.25
5	0.02	0.04	0.08	0.23	1.15
1	0.01	0.03	0.07	0.21	1.00
5	0.01	0.03	0.06	0.17	0.85

Fonte: DANIELETTO, 1990, p. 159.

O fator de serviço indicado para biogás é 0,5, pois este valor é sugerido quando não há dados precisos de pressões em Tubulações de PEAD (DANIELETTO, 2007, p. 121).

Um exemplo prático de elaboração própria para se adotar uma classificação é o seguinte:

Em um aterro sanitário, é adotada a viabilidade de compra de um soprador. Este soprador apresenta um valor máximo de sucção de -150 milibar, que é igual a -0,150 bar.

A Classificação de pressão da tubulação adotada não poderá ser adotada como 2,5 Bar, nem 3,2 Bar, nem 4 Bar e sim 6 Bar. Contudo a classificação de pressão da tubulação adotada deverá ser PN 6, que significa 6 Bar, e suporta uma pressão diferencial de 0,80 Bar, contra uma pressão solicitante de 0,150 Bar, resultando um fator de serviço de 0,19, sendo inferior a 0,5, que é o fator de serviço de cálculo para tubulações de Poli Etileno de Alta Densidade na condução de biogás.

O que se refere a SDR, Standard Dimension Ratio são série de números nas quais as relações das dimensões (diâmetro/espessura) são constantes para todos os tamanhos com mesma classificação de pressão e material (DANIELETTO, 1990, p. 135).

Conforme a ISO 4427 quanto à utilização de tubulação de Poli Etileno de Alta Densidade, é recomendado a aplicação em redes de esgoto. É apresentado pela NBR 8160/99 sistemas prediais de esgoto sanitário critérios técnicos e construtivos para a ventilação de gases gerados pela decomposição de matéria orgânica presente no esgoto, evidenciando condução de mesmo gás gerado nos aterros sanitários. Analogicamente, é possível recomendar a ISO 4427 para a finalidade de utilização de tubulação para condução de Biogás nos aterros sanitários.

Tabela 8 Dimensões conforme ISO 4427 – PE-80 / PE-100.

DIMENSÕES CONFORME ISO 4427 - PE-80 / PE-100																
	SDR 32,25		SDR 26		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR 9		SDR 7,25	
ISO 4427 PE-80	PN 4		PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20	
ISO 4427 PE-100	PN 5		PN 6		PN 8		PN 10		PN 12,5		PN 16		PN 20			
DE/mm	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m	e mm	Peso médio kg/m
20															2,3	0,131
25											2,3	0,168	2,8	0,197	3,5	0,238
32							2,3	0,220	2,4	0,228	3,0	0,275	3,6	0,323	4,5	0,390
40					2,3	0,280	2,4	0,290	3,0	0,351	3,7	0,425	4,5	0,504	5,6	0,605
50			2,3	0,354	2,4	0,368	3,0	0,447	3,7	0,543	4,6	0,660	5,6	0,782	6,9	0,930
63	2,3	0,451	2,5	0,486	3,0	0,571	3,8	0,713	4,7	0,866	5,8	1,043	7,0	1,228	8,7	1,477
75	2,4	0,562	2,9	0,665	3,6	0,818	4,5	1,006	5,6	1,226	6,9	1,475	8,4	1,756	10,4	2,101
90	2,8	0,779	3,5	0,965	4,3	1,172	5,4	1,446	6,7	1,757	8,2	2,111	10,0	2,502	12,5	3,026
110	3,5	1,189	4,3	1,447	5,3	1,760	6,6	2,152	8,2	2,630	10,0	3,131	12,3	3,763	15,2	4,500
125	3,9	1,497	4,9	1,859	6,0	2,249	7,5	2,777	9,3	3,385	11,4	4,062	13,9	4,825	17,3	5,814
140	4,4	1,898	5,4	2,304	6,7	2,816	8,3	3,446	10,4	4,235	12,8	5,097	15,6	6,066	19,4	7,297
160	5,0	2,447	6,2	3,022	7,7	3,694	9,5	4,498	11,9	5,523	14,6	6,646	17,8	7,904	22,1	9,506
180	5,6	3,091	7,0	3,812	8,6	4,641	10,7	5,689	13,4	7,004	16,4	8,401	20,0	9,986	24,9	12,026
200	6,2	3,810	7,7	4,667	9,6	5,751	11,9	7,021	14,9	8,636	18,2	10,360	22,3	12,379	27,6	14,821
225	7,0	4,806	8,7	5,925	10,8	7,267	13,4	8,904	16,7	10,894	20,5	13,112	25,0	15,596	31,1	18,791
250	7,8	5,952	9,7	7,334	11,9	8,894	14,9	10,979	18,6	13,478	22,8	16,188	27,8	19,271	34,5	23,152
280	8,7	7,435	10,8	9,139	13,4	11,227	16,6	13,710	20,8	16,870	25,5	20,286	31,2	24,231	38,7	29,068
315	9,8	9,411	12,2	11,631	15,0	14,109	18,7	17,362	23,4	21,361	28,7	25,670	35,0	30,555	43,5	36,764
355	11,1	12,037	13,7	14,687	16,9	17,914	21,1	22,096	26,3	27,058	32,3	32,573	39,5	38,870	49,0	46,649
400	12,4	15,127	15,4	18,611	19,1	22,843	23,8	28,032	29,7	34,392	36,4	41,345	44,5	49,333	55,2	59,243
450	14,0	19,160	17,4	23,640	21,5	28,889	26,7	35,383	33,4	43,520	41,0	52,341	50,0	62,335	61,7	74,544
500	15,5	23,601	19,3	29,131	23,9	35,642	29,7	43,718	37,1	53,722	45,5	64,571	55,6	77,026		

Fonte: Catálogo Polierg 2007.

Para a compra das tubulações, deverão também ser verificadas as utilizações do Poli Etileno 100, que contém um tipo de resina apresentando mais resistência do que o Poli Etileno 80, onde na mesma classificação de pressão, exemplo PN-6, apresenta diferenças de SDR. para PE-100 resulta em SDR 26 e para PE-80 resulta em SDR 21.

1.21 Escolha dos Diâmetros da Tubulação Principal.

Linhas principais de biogás são linhas que conectam Estações Reguladoras ou Manifold's ao soprador.



Figura 37 Vista de Linha principal no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.
 Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

As tubulações principais geralmente apresentam maiores diâmetros em relação as linhas secundárias por conduzirem o biogás global de um aterro sanitário variando seu diâmetro entre 250mm a 400mm.

A escolha do diâmetro da tubulação, segue a Equação da Continuidade para uma primeira hipótese da escolha do diâmetro (LANDTEC, 2006, p. 88):

$$Q = V * A$$

Onde:

Q = Fluxo volumétrico do Fluido (Biogás).

A = Área da Seção Transversal Interna da Tubulação.

V = Velocidade linear do fluido Contínuo.

O teor de umidade do biogás é um fator na medição do fluxo de gás porque o gás de aterro sanitário é, de forma geral, completamente saturado com vapor d'água. Os cálculos do fluxo de gás do aterro sanitário devem ser ajustados em relação ao vapor d'água, que geralmente varia desde uma pequena porcentagem de 10-12% ou mais por volume, dependendo da temperatura de gás circulante no ponto de medição (LANDTEC, 2006, p. 120).

Para uma estimativa do volume de condensado pelo Biogás segue a Equation de Antonie:

Para dimensionamento de Linhas Principais de biogás é aconselhada as seguintes velocidades:

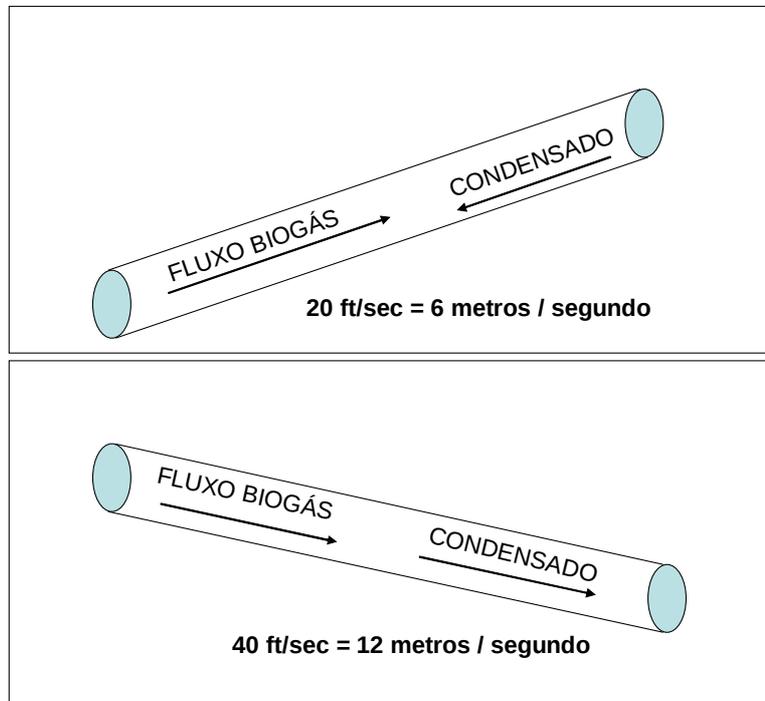


Figura 38 Fluxo descendente e ascendente de biogás.
Fonte: LANDTEC, 2006 (dados sugeridos).

Uma declividade ideal para implantação de linhas de biogás é considerada no mínimo de 3%, ou seja, para cada 100,00 metros na horizontal, deve-se considerar 3,00 metros na vertical (LANDTEC, 2006, p. 84).

Para estimativa de perda de carga em tubulação principal segue-se a equação de Mueller (Baixa Pressão) (LANDTEC, 2006, p. 96):

$$\Delta P = L(60 \times Q \times G^{0,425}) / (2971 \times d^{2,725})^{1/0,575}$$

Onde:

ΔP = Redução da pressão (polegadas de c.a.)

L = Comprimento da Tubulação (pés)

Q = Média da Vazão (cfm)

G = Densidade específica do Gás (Ar =1,0, Gás =~0,87)

D = Diâmetro interno do tubo (polegadas)

Para análises de perdas de cargas localizadas, segue a seguinte tabela informativa apresentada por Danieletto (2007, p. 214):

Tabela 9 Tabela de perda de Carga Localizada expressos em comprimento equivalente.

PEÇAS	COMPRIMENTOS (quantidade de diâmetros)
Ampliação gradual	12
Cotovelo de 90°	45
Cotovelo de 45°	20
Curva de 90°	30
Curva de 45°	15
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Junção	30
Redução gradual	6
Registro de gaveta aberto	8
Registro de globo, aberto	350
Registro de ângulo, aberto	170
Saída de canalização	35
Te, passagem direita	20
Te, saída de lado	50
Te, saída bilateral	65
Válvula-de-pé e crivo	250
Válvula de retenção	100
30° - 2 Segmentos	7
45° - 2 Segmentos	15
45° - 3 Segmentos	10
60° - 2 segmentos	25
60° - 3 segmentos	15
90° - 2 segmentos	65
90° - 3 segmentos	25
90° - 4 segmentos	15

Fonte: DANIELETTO, 2007, p. 214.

Não comportando a primeira hipótese, para análise do diâmetro da tubulação principal, aumenta-se o diâmetro da tubulação seguindo todo roteiro de cálculo apresentado.

1.22 Escolha dos Diâmetros das Tubulações Secundárias.

Linhas secundárias de biogás são linhas que conecta uma Estação Reguladora ou Manifold's aos poços de captura de biogás disposto em um aterro sanitário.



Figura 39 Vista de Manifold utilizado no aterro sanitário Lara.
Fonte: LARA, 2008.



Figura 40 Vista de Manifold utilizado no aterro sanitário Estre-Paulínea.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.



Figura 41 Vista de Manifold utilizado no aterro sanitário Bandeirantes.
Fonte: DELBIN, 2004.

Como as linhas secundárias são sempre apresentadas com mesmos diâmetros, pois a produção de biogás por poço são valores que não necessitam de grandes diâmetros não chegando a valores de 200mm, Para os estudos de perdas de carga na linha, pode-se levar em conta o gráfico 9 a seguir:

A produção de biogás unitária por dreno vertical são valores que não necessitam de grandes diâmetros, contudo utilizando-se a equação $0,785D^2=Q/V$ onde D é o diâmetro que será adotado, Q é a vazão calculada por poço e V é a velocidade ideal para condução de biogás, valor ideal 9,0 m/s, observa-se que os diâmetros destas tubulações principais não necessitam diâmetros superiores a 160mm.

Para facilitar os cálculos de perda de carga de pressões por unidade de comprimento, é apresentado um ábaco onde se relacionam diâmetros de tubulações de PEAD e vazões teóricas para se conduzir o biogás do maciço de resíduos depositados as estações de regulagens (Manifold's).

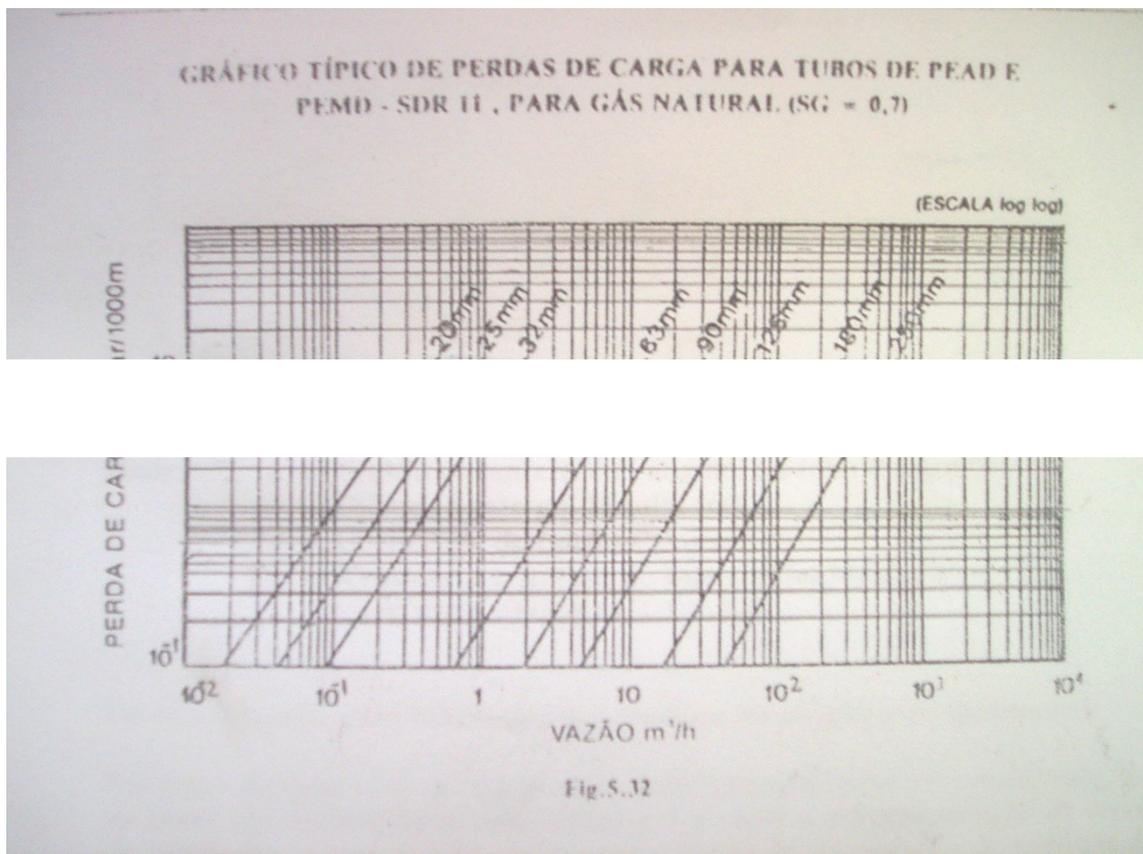


Gráfico 12 Gráfico Típico de Perda de Carga para Tubo de PEAD.

Fonte: DANIELETTO, 1990, p. 225.

Não comportando a primeira hipótese, para análise do diâmetro da tubulação secundária, aumenta-se o diâmetro da tubulação seguindo todo roteiro de cálculo apresentado.

IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTURA E CONDUÇÃO DO BIOGÁS

1.23 Distribuição das Malhas de Tubulações condutoras de Biogás

Primeiramente determina-se onde a central de extração de biogás, onde o local mais indicado é a região mais baixa do aterro sanitário devido ao condensado gerado pelo biogás percorrer em mesmo sentido de fluxo do biogás conduzido.

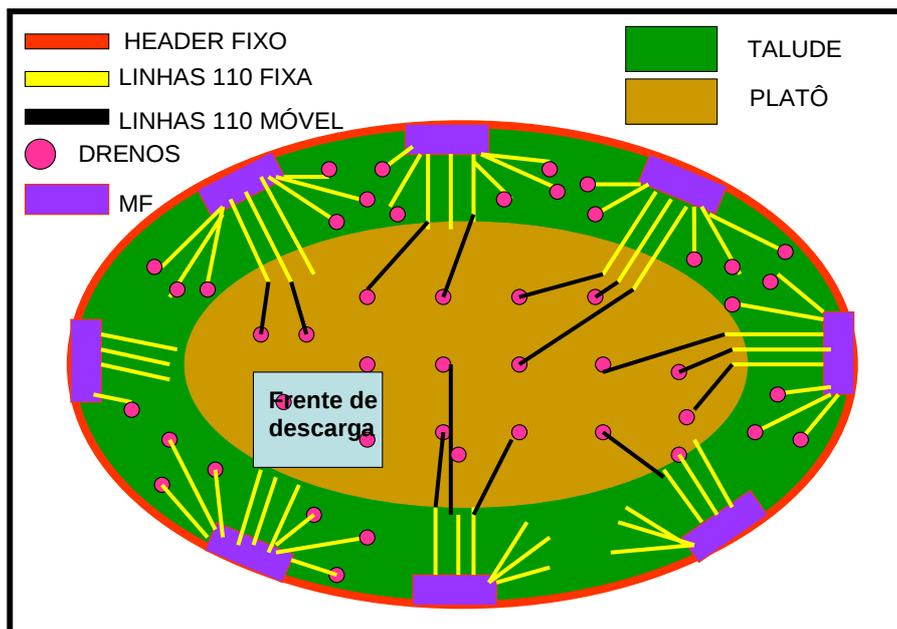


Figura 42 Croqui de Planejamento de Linhas de Biogás em aterro sanitário.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Sendo estabelecido o local da planta de extração de biogás, estuda-se o encaminhamento de tubulações principais na tentativa de implantá-la em regiões do aterro sanitário onde não haverão mais disposições de resíduos. Geralmente esta região é encontrada em taludes de periferias do aterro sanitário.



Figura 43 Vista de distribuição de linhas de Biogás no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Projetado o encaminhamento das tubulações principais, deve ser avaliada a implantação de estações de regulagens ou Manifold's. A forma mais conveniente de implantações destas estações seria no ponto mais baixo da região que seria capturada biogás por elas, pois assim como as tubulações principais o condensado de Biogás será conduzido no mesmo sentido de fluxo, evitando maiores probabilidades de obstrução de passagem de gás pela formação de sifão gerado pelo percolado nas tubulações secundárias.



Figura 44 Vista de implantação de linhas de Biogás no Aterro Sanitário Terrestre
Fonte: PAZIN, 2007.

As vantagens de se implantar a estação reguladora ou Manifold em locais mais baixos e que não receberá deposição de resíduos são:

- A não desativação da estação durante a vida útil do sistema.
- Captura contínua de biogás nas regiões de taludes.

Maiores praticidades e velocidade na captura de biogás em regiões recém depositada resíduos, pois as tubulações secundárias se apresentam com menores diâmetros, menores tempos de solda e menores pesos lineares da tubulação contribuindo estes fatores para a equipe de instalação e manutenção do sistema.

1.24 Soldagem das Tubulações de PEAD

Uma forma utilizada para soldagem das tubulações de Poli Etileno de Alta Densidade, é a Termo Fusão. Basicamente a Termo Fusão é a fusão de topos de tubulações pelo seu aquecimento.

Geralmente, a máquina de solda topo por termo fusão apresenta as aparelhagens como ilustrado na figura 45:



Figura 45 Máquina de solda Topo KL 315

Fonte: FISHER, 2000, p. 07.

Para este procedimento são seguidas as seguintes etapas que devem ser consultados os parâmetros em tabelas do manual do equipamento de solda:

1- Posicionamento da tubulação no equipamento de soldagem.



Figura 46 Vista de posicionamento de tubulação PEAD para soldagem.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

2 - Faceamento dos topos da tubulação posicionada.



Figura 47 Vista de faceamento de tubulação PEAD para soldagem
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

3 - Verificação da pressão recomendada, acrescentando a pressão de arraste da tubulação posicionada.

Tabela 10 Tabela de solda para tubulação de PEAD.

Solda de topo por termofusão de PEAD												
Tabelas pressão/tempo conforme DVS 2207/1												
	Diâmetro Externo	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315
	Espessura mm	-	4.2	4.8	5.4	6.2	6.9	7.7	8.6	9.6	10,7	121
	Superfície de solda mm ²	-	139	181	228	299	375	4651	584	725	9052	11513
	Pressão Pré-aquecimento/solda bar	-	4	6	7	9	11	14	18	22	27	34
	Altura inicial cordão	-	0,5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0
S12.5 SRD 26	Pressão aquecimento sec	-	1	1	1	1	2	2	2	3	4	5
	Tempo aquecimento sec	-	42	48	54	62	69	77	86	96	107	141
	Tempo refrada placa sec	-	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8
	Tempo p/subir pressão	-	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8
	Tempo resfriamento sec	-	5	7	7	9	10	11	12	13	15	16

Fonte: FISHER, 2000, p. 22.

4 - Aquecimento dos topos, verificando a Temperatura e o Tempo de espera.



Figura 48 Vista de verificação de tempo de aquecimento de solda topo
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

5 - Fusão dos topos da tubulação de PEAD, verificando a pressão e o tempo de espera de resfriamento da tubulação.



Figura 49 Vista de verificação de tempo de resfriamento de solda topo
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

6 - Aguardado o tempo de espera, com as devidas pressões a tubulação está pronta para ter retirada do equipamento de soldagem, assentada e operar condução de biogás.



Figura 50 Vista tubulação após soldada

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

1.25 Peças e Conexões especiais.

Para utilizações de borrachas de juntas ou mesmo sede de válvulas de tubulações de biogás o tipo de borracha melhor indicado é a Borracha EPDM (LANDTEC, 2006, p. 139).



Figura 51 Vista instalação de junta em borracha EPDM

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

As válvulas indicadas para menores manutenções para instalação no sistema, conforme empresa ACEPIL após análise química do percolado, uma estrutura em corpo em alumínio bipartido dispensando pintura, Sede em Borracha EPDM diminuindo ressecamento e disco em aço inox reduzindo corrosões. A vantagem desta utilização, como recomendada é a possível substituição da sede de EPDM com maior praticidade e evitar fadiga de material como é observada em válvulas plásticas.



Figura 52 Vista instalação de válvula.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Para execuções de Tês de tubulações de biogás, para melhores otimizações de perdas de carga do sistema, o grau de abertura a ser utilizado é um grau de 45° que em relação ao de 90° apresenta na ordem até 6 vezes menos perda de carga, conforme tabela 5 de perdas de carga localizadas.



Figura 53 Vista de corte de tubo para execução de Tê.
Fonte: LARA, 2008.

Para a fabricação de Tês 45° é calculado o grau de corte das tubulações sendo posteriormente ao corte, é soldada a peça no grau indicado com auxílio de uma extrusora.



Figura 54 Vista de execução do revestimento de Tê.

Fonte: LARA, 2008.

Segundo modelador e funcionário do aterro sanitário Lara, Sr. Antônio Marcelo Camargo, as peças Tês 45° são revestidas com manta de fibra de vidro e resina iso-fitálica para obter maiores resistências químicas e mecânicas (CABRAL, 2008).

1.26 Travessias de acessos.

Há duas formas de se executar travessias sendo enterrada ou exposta.

1.26.1 Travessias de acessos expostas.

As travessias expostas são indicadas para acessos onde não haverá nem fluxo de caminhões nem carretas, pois estas tubulações estarão apenas posicionadas para seu encaminhamento no aterro sanitário facilitando manutenções corretivas geradas pelos recalques diferenciais durante a vida útil de utilização.



Figura 55 Vista de execução Travessia Exposta.
Fonte: LARA, 2008.

1.26.2 Travessias de Acessos Enterradas.

As travessias enterradas são indicadas para acessos onde há fluxo de caminhões e carretas, pois estas tubulações necessitam de proteção contra compressão diametral sendo apenas enterradas quando se observa travessias de tubulações secundárias e já para as tubulações principais se indica um encamisamento com chapas de aço corrugada, ou mesmo com tubulações de concreto.

1.26.2.1 Travessias de Acessos Enterradas sem Encamisamento.

Para execução de tubulações apenas enterradas, o mínimo indicado para o reaterro a partir da geratriz superior da tubulação é uma espessura de 80 cm (DANIELETTO, 1990, p. 144).



Figura 56 Vista de execução Travessia sem encamisamento.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

1.26.2.2 Travessias de Acessos Enterradas com Encamisamento

Par execução de tubulações encamisadas, é indicado uma folga de 20% de seu comprimento de trecho reto, para que com a ação de recalques diferenciais não haja cisalhamento de suas extremidades pelo efeito dos recalques diferenciais e também pelo efeito da dilatação do Poli Etileno de Alta Densidade.



Figura 57 Vista de execução Travessia com encamisamento.
Fonte: LARA, 2008.

1.26.3 Verificação da declividade

Uma verificação muitíssimo importante é a declividade qualquer tubulação enterrada que está sendo instalada para não haver acúmulos de líquidos condensados do Biogás.

Para tal verificação um equipamento indispensável é o “Nível Magnético” vulgarmente chamado de “Bolha de nível” que deve aplicada a toda tubulação para verificação de possíveis falhas de escavação da travessia de acesso.



Figura 58 Vista de verificação de declividade em travessia.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Nestas travessias, a declividade indicada é um valor de no mínimo 10% para minimizar os efeitos dos recalques diferenciais ao longo do tempo.

1.27 Implantação de Linhas de Biogás em Talude

Conforme verificado nos aterros sanitários, os resíduos sólidos depositados apresentam grandes valores de recalque após a sua deposição. A velocidade de recalque é muitíssimo acelerada nas primeiras idades e mais lentas quando o resíduo depositado apresenta idades mais elevadas.

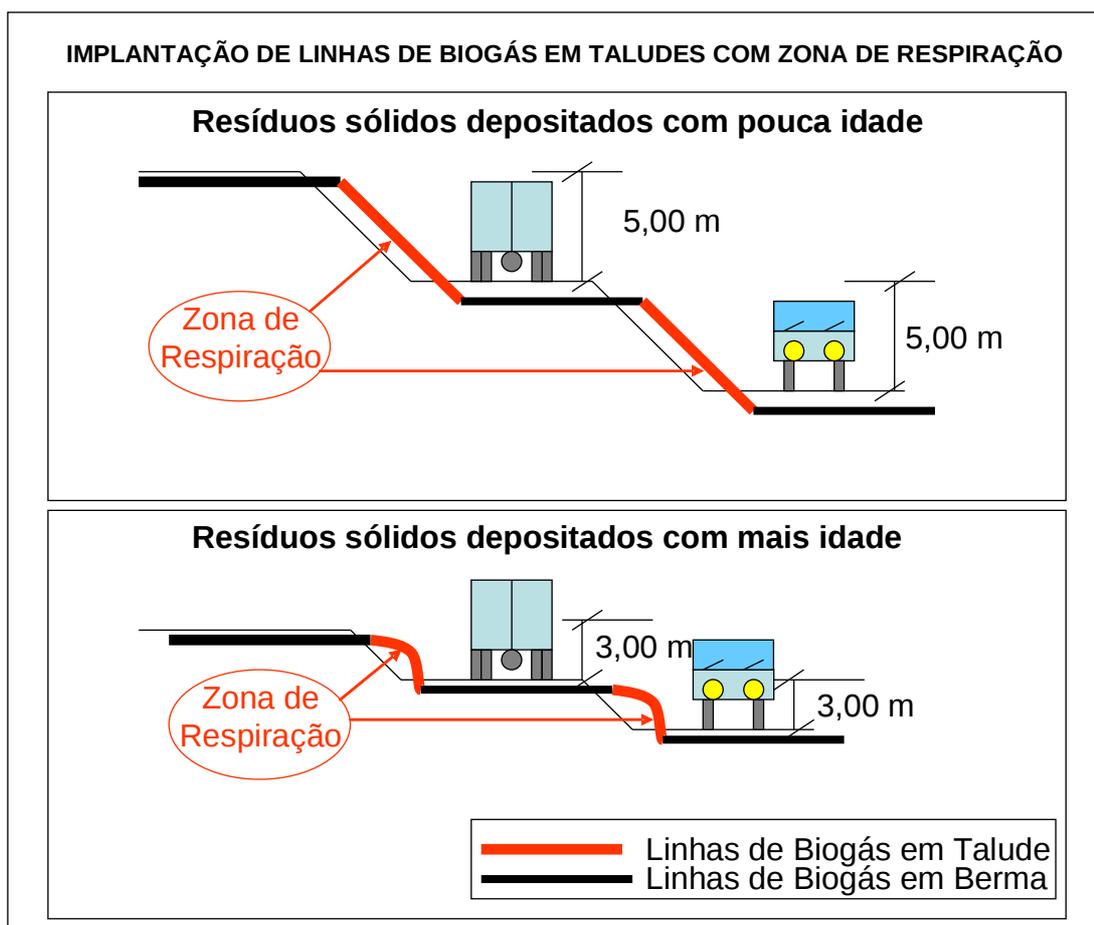


Figura 59 Croqui de implantação de linhas em talude.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Contudo, para implantação de linhas de biogás em taludes, a solução para implantação de linhas de biogás, sem que haja grandes manutenções preventivas ou corretivas nestas regiões é a zona de respiração que é criada quando se implantam as tubulações, tanto principais como secundárias sem que estejam enterradas (Vide figura 60).



Figura 60 Vista de linhas em talude com zona de respiração.

Fonte: LARA, 2008.

Conforme ilustrado acima, como já citado onde um dos materiais mais adequados para a tubulação é o Poli Etileno de Alta Densidade. Conforme Danieletto (2007) nos ensaio de compressão diametral, com aumento da compressão, o tubo deforma mais e mais, de modo que o teto do tubo, curvado para dentro, chega a tocar no fundo, que se a curvatura para cima. Tudo isso sem que ocorram trincas no tubo, acompanhando os recalques de um aterro sanitário continuando com a sua função de conduzir biogás.

1.28 Implantação de Linhas de Biogás em Platô

Platôs de aterros sanitários geralmente são regiões muitíssimo plana, obtendo uma declividade média de 1% e geralmente em aterros que recebem resíduos são regiões onde as tubulações a serem implantadas se caracterizam como provisórias pois são regiões que irão receber resíduos após canalizado o biogás.



Figura 61 Vista de linhas implantadas em platô.

Fonte: LARA, 2008.

Uma boa regra é a implantação de piquetes com no máximo 1,40 metros de altura do solo resultando em pontos baixos a cada 60,00 metros com altura de 0,50m do solo.

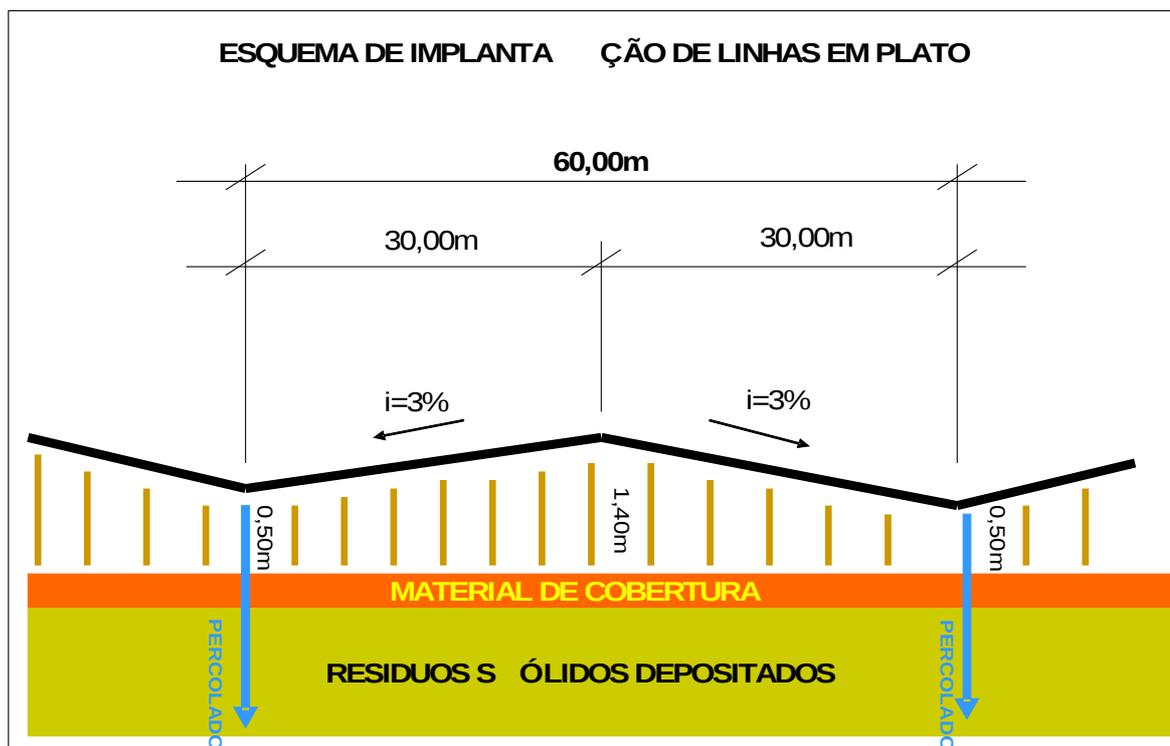


Gráfico 13 Esquema de implantação de linhas em plato.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2008.

Nestas regiões para respeitar-se uma declividade de 3%, mencionado pela Landtec, é necessária a instalação de piquetes e pontos de drenagem de percolado ao longo da linha.

1.29 Execução de Cabeçotes nos drenos do Biogás.

Cabeçote é um instrumento que encaminha o biogás de drenos verticais de um aterro sanitário à tubulações condutoras de um sistema de redes de tubulações.

1.29.1 Encerramento de fogo de Drenos Verticais.

Muitos aterros sanitários queimam o biogás de drenos verticais de forma incipiente. Para implantação de sistema de biogás é necessário que haja a eliminação do fogo nestes drenos.



Figura 62 Vista de dreno vertical com fogo.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Para eliminação de fogo de drenos verticais pode ser executada por injeção de água ou por abafamento do dreno vertical.



Figura 63 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por água.
Fonte: DELBIN, 2004.

O encerramento de fogo por abafamento, permite que não haja choque térmico na tubulação do dreno vertical que pode ocasionar rupturas e desmoronamento da drenagem e não aumenta a vazão de líquidos efluentes do aterro sanitário junto às águas lixiviantes (Chorume).



Figura 64 Vista de Encerramento de fogo em Dreno Vertical por abafamento.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Após o encerramento de fogo é indicado que seja instalada uma tocha provisória, cujo biogás emitido pelo dreno vertical, continua a ser queimado, fazendo com que a maior parcela de gás metano (CH_4) presente no biogás não passe a ser emitido diretamente a atmosfera.



Figura 65 Vista de tocha provisória implantada.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Sendo assim o biogás que passou a ser queimado em tocha provisória, resfriando lentamente as pedras rachão e o tubo da drenagem vertical, estando este dreno pronto para devidas intervenções para instalação de cabeçotes para condução de biogás.

1.29.1.1 Ordem de Encerramento de Fogo

Para o encerramento de fogo de drenos verticais em um aterro sanitário, sendo observada que a densidade do biogás, em concentrações médias, é inferior que a densidade do gás atmosférico, a tendência do biogás nas drenagens do maciço do aterro sanitário é a migração para camadas superiores.

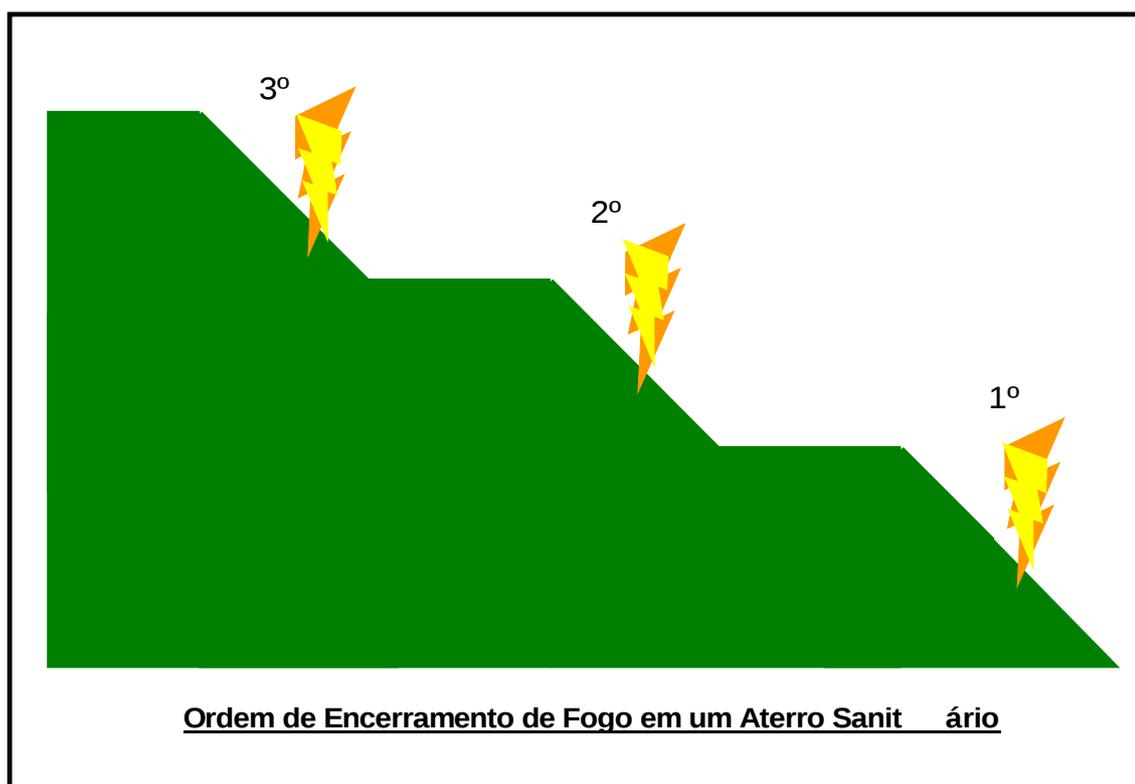


Figura 66 Esquema de ordem de encerramento de fogo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2007.

Esta forma de encerramento de fogo como ilustrado na figura 64, é aconselhado para que a chama não retorne a drenos verticais já apagados, indica-se então que os drenos sejam apagados das camadas inferiores para as camadas superiores.

1.29.2 Impermeabilização de Base

Para instalação de cabeçotes é necessária a impermeabilização de base para não haver infiltração de oxigênio nem de águas pluviais que obstruem a passagem de biogás nos drenos verticais.

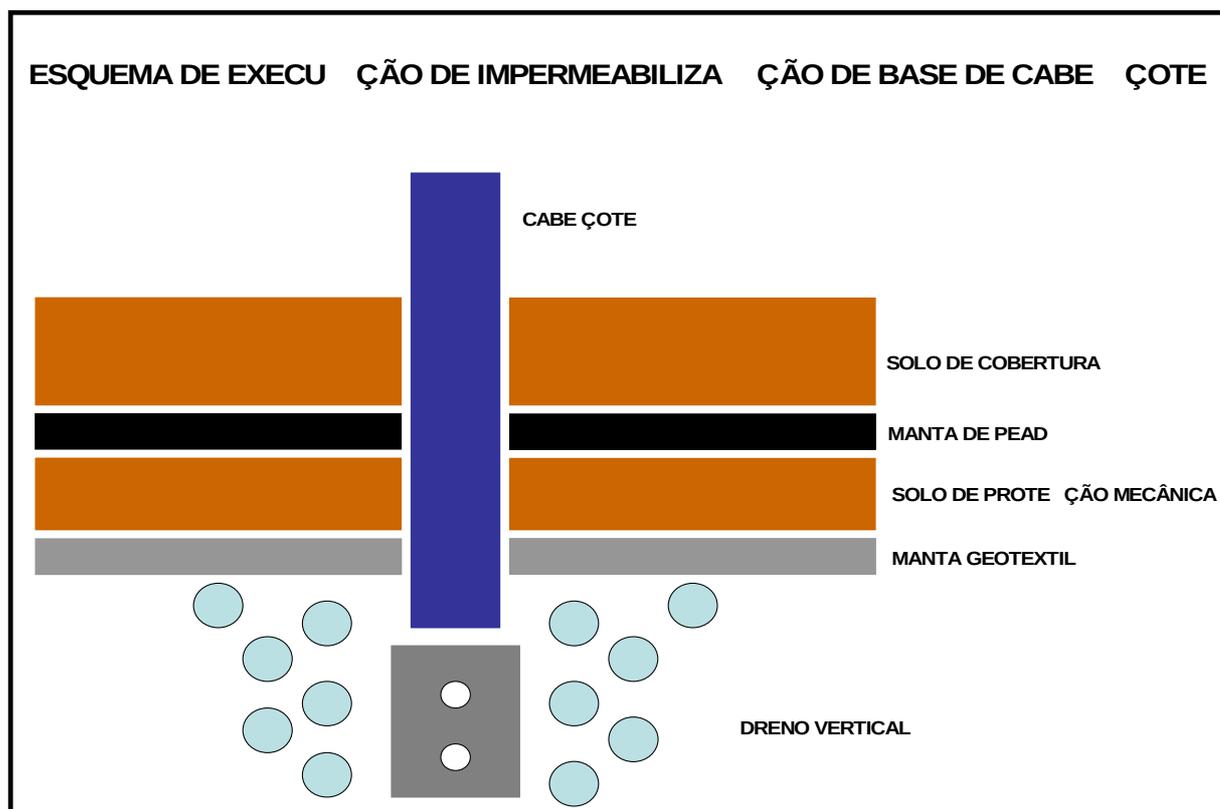


Figura 67 Camadas necessárias à impermeabilização de Base de cabeçote.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2007.

Para execução da escavação de drenos verticais é aconselhado que a escavação seja realizada no entorno da drenagem vertical para evitar que particulados sejam carreados para a tubulação da drenagem e ocorra a obstrução de passagem de biogás conforme ilustração acima.

A profundidade de escavação do dreno vertical é no mínimo, duas vezes a camada de cobertura final e o comprimento da escavação é no mínimo quatro vezes o diâmetro da drenagem vertical. Este procedimento observado serve para se obter melhores proteções da camada impermeabilizante e também, para dificultar a penetração de oxigênio durante a extração de biogás.



Figura 68 Vista de escavação de dreno vertical.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Após a escavação no entorno dos drenos, tanto em taludes como em platôs, é instalada a manta geotêxtil para o material terroso de proteção mecânica da manta de PEAD não penetre nas pedras, geralmente Rachão, que compõe a drenagem vertical.



Figura 69 Vista de instalação de Manta Geotextil.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

A camada de solo adjacente à manta geotextil tem uma importante função de proteção mecânica para a manta de PEAD que será instalada acima desta camada com espessura entre 25 cm, protegendo dos materiais pontiagudos, como pedaços de garrafas de vidro, pregos que podem estar contidos no maciço do aterro. A manta de PEAD é a camada de impermeabilização de oxigênio e de águas pluviais que deve estar protegida. Esta proteção mecânica com solo deve ser executada tanto em drenagens inseridas em taludes como em platôs.



Figura 70 Vista de execução de camada protetora.

Fonte: LARA, 2008.

A manta de PEAD é instalada tanto em poços instalados em taludes como em platôs.

Em taludes, o comprimento do quadrado da manta, representa de forma geral, o maior comprimento da escavação do dreno vertical em sua base.



Figura 71 Vista de instalação de Manta PEAD em talude.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Em Platôs, como referido a manta de PEAD é instalada em todo contorno da área escavada conforme a figura 72 abaixo.



Figura 72 Vista de instalação de Manta PEAD em platô no Aterro Terrestre.
Fonte: PAZIN, 2007.

Conforme aterros sanitários apresentam recalques diferenciais, tanto verticais como horizontais, o cabeçote necessita de uma selagem entre a manta de impermeabilização e seu corpo, para que não seja criado um vazio após o recalque, evitando migração de oxigênio e águas pluviais.



Figura 73 Vista de execução de selo com bentonita.

Fonte: LARA, 2008.

A figura acima ilustra a inserção de Bentonita, que é um material impermeabilizante, servindo como um selo entre o corpo do cabeçote e a manta de impermeabilização.



Figura 74 Vista de anel selante em PEAD.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Para execução desta selagem entre a manta de impermeabilização, há a possibilidade de inserção de um anel no próprio corpo do cabeçote podendo-se agregar, ou mesmo substituir a utilização da bentonita para constituição do selo.

1.29.3 Cabeçotes de drenagem vertical.

Após a execução de impermeabilização de base de cabeçotes, existem alguns modelos de cabeçotes que apresentam a mesma função de encaminhar o biogás de drenos verticais de um aterro sanitário à tubulações condutoras de um sistema de redes de tubulações.

No aterro sanitário Terrestre as grandes maiorias dos drenos verticais, na época da implantação do sistema, estavam em regiões que em pouco tempo seriam depositados resíduos sólidos. O modelo de cabeçote instalado consiste em uma chapa circular que dispensava escavações para execução de impermeabilização de base de cabeçote.



Figura 75 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário Terrestre.
Fonte: PAZIN, 2007.

Já no Aterro Sanitário CDR-Pedreira, foram instalados cabeçotes que se acoplou às drenagens verticais de concreto, que na maioria da primeira fase de projeto, estes drenos se encontravam em regiões em taludes onde não receberiam mais resíduos sólidos.



Figura 76 Vista de instalação de cabeçote no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.
Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

Estes cabeçotes contem válvula de verificação de nível de líquidos e tampa removível para possível evacuação de líquidos. Também, esta mesma válvula é a tomada de análises da qualidade do biogás que está sendo capturado onde a regulagem da captura é efetuada em nas estações de regulagem e em válvulas dispostas nas tubulações entre os drenos verticais e a estação de regulagem. Na tubulação acoplada ao dreno existe uma válvula borboleta para regulagem da extração e uma válvula esférica que permite a verificação da vazão que se está se extraindo o biogás, assim como também a qualidade do biogás encaminhado.



Figura 77 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário CDR-Pedreira.

Fonte: CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2007.

A empresa Arquipelago Engenharia Ambiental, no Aterro Sanitário LARA, desenvolveu um cabeçote que atende tanto os poços em locais definitivos quanto os locais provisórios. Segundo o Manual de Partida e Operação da Planta Biogás, desenvolvido pela empresa Arquipelago Engenharia Ambiental, a regulagem de captura de Biogás é seguida conforme observado junto aos procedimentos de regulagem executados pela equipe de operadores, estes cabeçotes contem tomadas de análises da qualidade do biogás que está sendo capturado por dreno com sua posterior regulagem de pressão e vazão em seções instaladas nos tubos de 110 mm próximas aos Manifold's que são os pontos de regularização. Também é possível verificação do nível de líquido dentro do dreno com sua possível evacuação.



Figura 78 Vista de cabeçote instalado no Aterro Sanitário LARA.
Fonte: LARA, 2008.

Em muitos aterros sanitários no mundo é utilizado o cabeçote da Landtec.



Figura 79 Vista de cabeçote em teste no Aterro Sanitário LARA.
Fonte: LARA, 2008.

Com o cabeçote da Landtec é possível executar todos os controles de captura de biogás de uma drenagem como medições e regulagem de vazão, regulagem da sucção do dreno e verificação da qualidade do biogás conduzido através do aparelho GEM 2000. Neste cabeçote já estão inseridas as tomadas de análises e válvula de regulagem de captura de Biogás.

UTILIZAÇÕES DO BIOGÁS GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS

1.30 Créditos de Carbono

Na década de 1980, as evidências científicas relacionando as emissões de gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas à mudança do clima global começaram a despertar a preocupação pública. Inspiraram também uma série de conferências internacionais que apelavam para a urgência de um tratado mundial para enfrentar o problema. Em 1990, a Assembleia Geral das Nações Unidas respondeu a esses apelos estabelecendo o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC). (MCT, 2009)

O INC/FCCC preparou a redação da Convenção e adotou-a em 9 de maio de 1992 na sede das Nações Unidas em Nova York. A Convenção foi aberta a assinatura em junho de 1992 na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro. Foi assinada durante o encontro por Chefes de Estado e outras autoridades de 154 países (e a Comunidade Européia), entrando em vigor em 21 de março de 1994. Até meados de 1997, 165 países ratificaram ou acederam à Convenção, comprometendo-se, assim, com os termos da Convenção. (MCT, 2009)

O Brasil foi o primeiro país que assinou a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima em 4 de junho de 1992 e o Congresso Nacional a ratificou em 28 de fevereiro de 1994. A Convenção entrou em vigor para o Brasil em 29 de maio de 1994, no nonagésimo dia após a ratificação pelo Congresso Nacional. (MCT, 2009)

A Conferência das Partes (COP) – o órgão supremo da Convenção – reuniu-se pela primeira vez no início de 1995 em Berlim. A COP 1 adotou 21 decisões, incluindo o Mandato de Berlim prevendo novas discussões sobre o fortalecimento da Convenção. A COP 2 aconteceu em julho de 1996 nas Nações Unidas em Genebra. A terceira sessão realizada em dezembro de 1997 em Quioto, Japão, a COP 3 levou alguns países a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas quanto as mudanças climáticas. (MCT, 2009)

Este acordo realizado em dezembro de 1997 denomina-se Protocolo de Quioto. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que países desenvolvidos signatários reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 5,2%, em média, relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. Esse período é também conhecido como primeiro período de compromisso. Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução de GEE pode ser feita através de negociação com nações através dos mecanismos de flexibilização.

Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE) - ou em inglês, *Certified Emission Reductions* (CERs). Cada RCE corresponde a uma tonelada de Dióxido de carbono equivalente (CO_2). O CO_2 equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento global do CO_2 foi estipulado como 1.

Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO_2 , portanto o CO_2 equivalente do metano é igual a 21. Portanto, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono. Outros gases que também podem ser citados são:

- N_2O - Óxido nitroso = 310
- HFCs – Hidrofluorcarbonetos = 140 ~ 11700
- PFCs – Perfluorcarbonetos = 6500 ~ 9200
- SF_6 - Hexafluoreto de enxofre = 23900

Esses créditos de carbono são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE) e negociado no mercado internacional, dando um valor monetário à poluição.



Figura 80 Vista da Usina de Combustão de Biogás no Aterro Sanitário Lara.
Fonte: LARA, 2008.

Como o Protocolo de Quioto determina uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir, alguns países por sua vez criam leis que restringem as emissões de GEE. Desta forma, aqueles países ou empresas que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões, tornam-se compradores de créditos de carbono. Por outro lado, aquelas empresas que conseguiram diminuir suas emissões abaixo das cotas determinadas, podem vender o excedente de "redução de emissão" ou "permissão de emissão" no mercado nacional ou internacional.

Cabe ressaltar que esses créditos só poderão ser comercializados a partir do momento que as empresas elaboram um projeto que contemple a melhora ambiental em função da redução de emissões de GEE que a empresa deixará de emitir para a atmosfera denominado Documento de Concepção do Projeto (DCP) ou em inglês Project Design Document (PDD) e enviá-lo para avaliação ao órgão brasileiro, no caso Ministério da Ciência e Tecnologia e depois ao órgão da ONU responsável denominado *United Nations framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Os créditos gerados podem ser comercializados com empresas privadas, ou através de bolsas de valores como a de São Paulo, Chicago e Europa. Assim como, os valores também podem variar de acordo com a situação do mercado financeiro. A figura 79 elucida o texto acima.

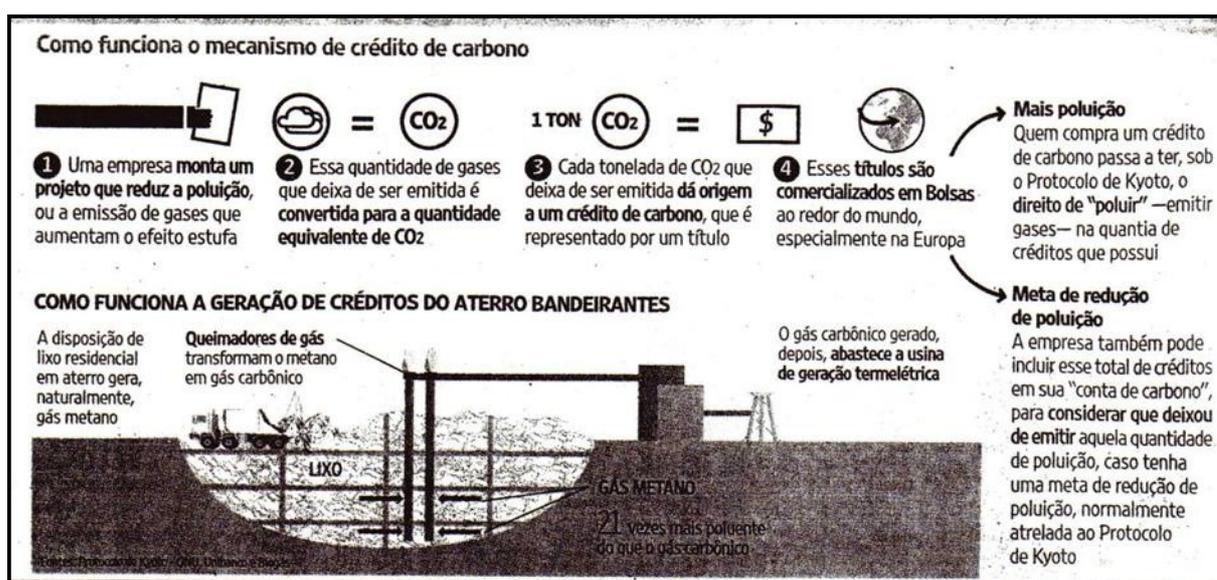


Figura 81 Como funciona o mecanismo de crédito de carbono

Fonte: Jornal Folha de São Paulo, caderno dinheiro, 27 de setembro de 2007.

Segundo a gerente ambiental Priscila Bolcchi, que trabalha no projeto do aterro sanitário Lara localizado no município de Mauá/SP, apesar das várias opiniões e contradições quanto à validade ou mesmo à eficácia do protocolo de Quioto quanto ao resultado positivo que pode gerar em relação aos problemas ambientais ligados ao clima, o mesmo serviu para alertar o mundo e criar uma visão ambiental mais forte perante a sociedade civil, órgãos públicos e empresas privadas.

A Parceria Metano para Mercados (Methane to Markets Partnership) é uma iniciativa internacional que promove a recuperação de metano a curto prazo e a baixo custo, assim como seu uso como fonte de energia limpa. O objetivo da Parceria é reduzir as emissões globais de metano a fim de incentivar o crescimento econômico, fortalecer a segurança energética, melhorar a qualidade do ar e a segurança industrial e diminuir as emissões de gases de efeito estufa. (Methane to Markets, 2009)

A Parceria atualmente tem como foco quatro fontes de emissão de metano:

- Agricultura (manejo de dejetos animais)
- Minas de carvão
- Aterros sanitários
- Sistemas de petróleo e gás

Governos, entidades do setor privado, bancos de desenvolvimento, organizações não-governamentais, especialistas financeiros e técnicos e outras partes interessadas são incentivados a [juntar-se à Parceria](#) e a colaborar no desenvolvimento da captura de metano e a implementar os projetos em âmbito internacional. (Methane to Markets, 2009)

1.31 Geração de energia elétrica

As alternativas mais usuais para geração de energia elétrica a partir de biogás são através de motores a combustão interna, turbinas a gás e microturbinas.

A alternativa de Motor Alternativo de Combustão Interna, apresenta capacidade de Geração de Energia Elétrica entre 100Kw a 3 MW por motor. Abaixo segue uma ilustração conceitual de motor a gás (COELHO, 2007).

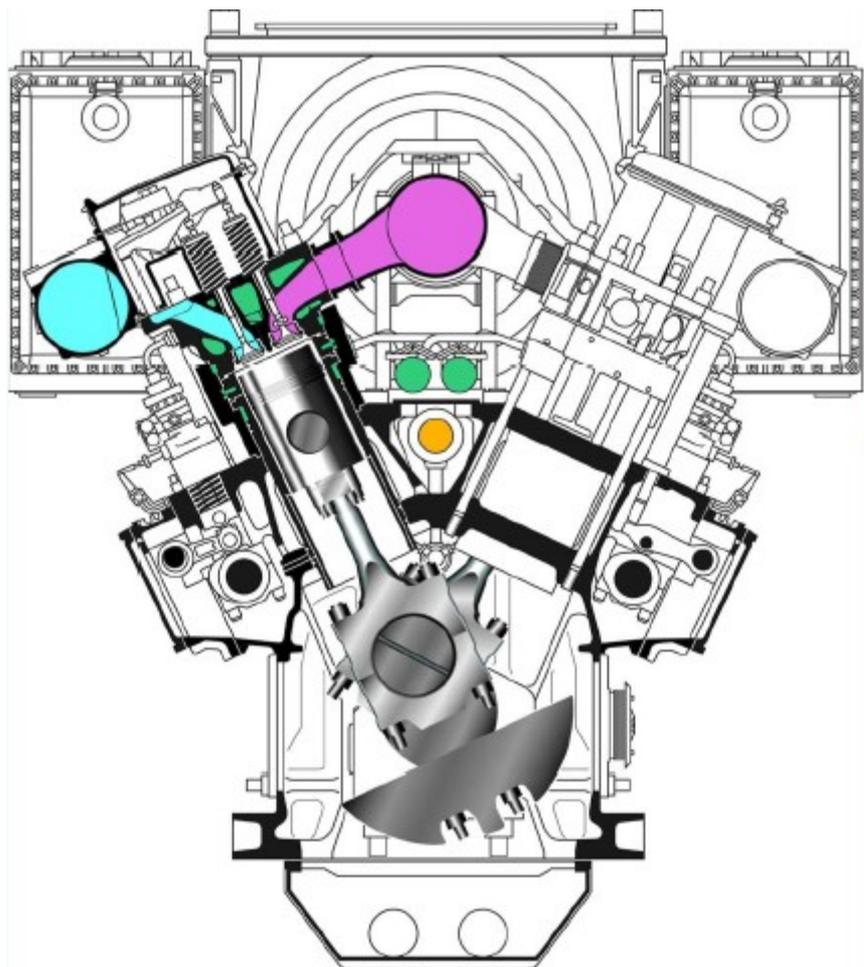


Figura 82 Motor a Gás
Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

A alternativa de Turbinas a Gás, apresenta capacidade de Geração de Energia Elétrica entre 250Kw a 10,5MW por turbina. Abaixo segue uma ilustração conceitual de turbina a gás (COELHO, 2007).

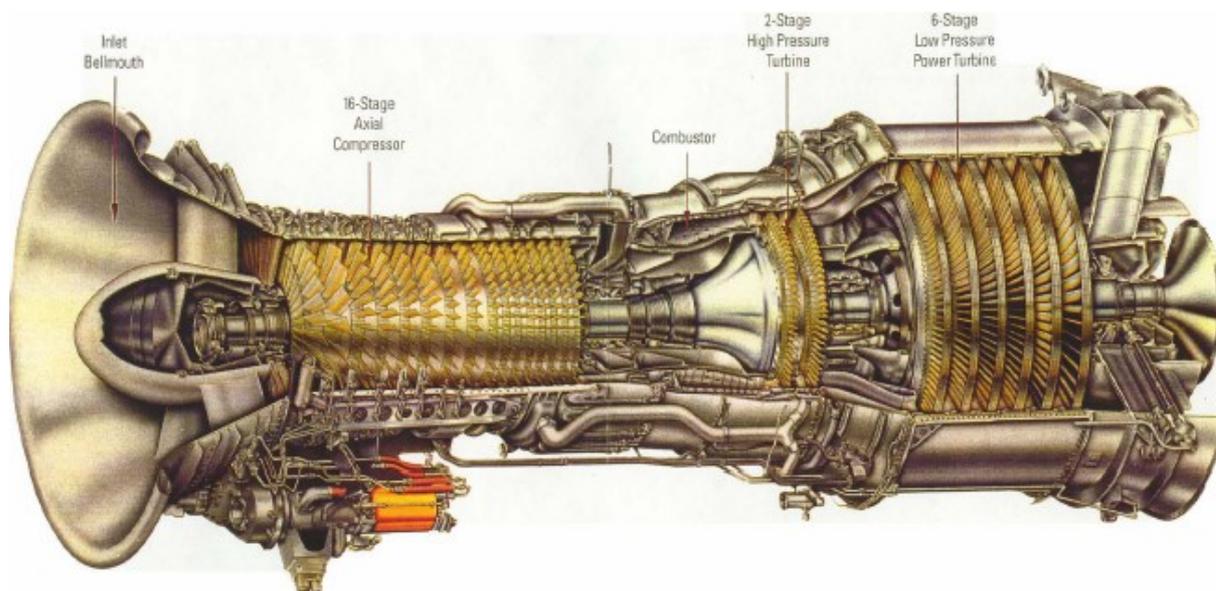


Figura 83 Turbina a Gás.

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

A alternativa de Micro turbinas, apresenta capacidade de Geração de Energia Elétrica entre 20 a 250 KW por turbina. Abaixo segue uma ilustração conceitual de turbina a gás (COELHO, 2007).



Figura 84 Microturbina.

Fonte: COELHO, 2007.

Abaixo segue um comparativo de rendimento entre sistemas podendo-se comparar o sistema de motores a combustão interna, Internal Combustion Engines, e turbinas a gás, gás Turbine, pelo ciclo de Carnot.

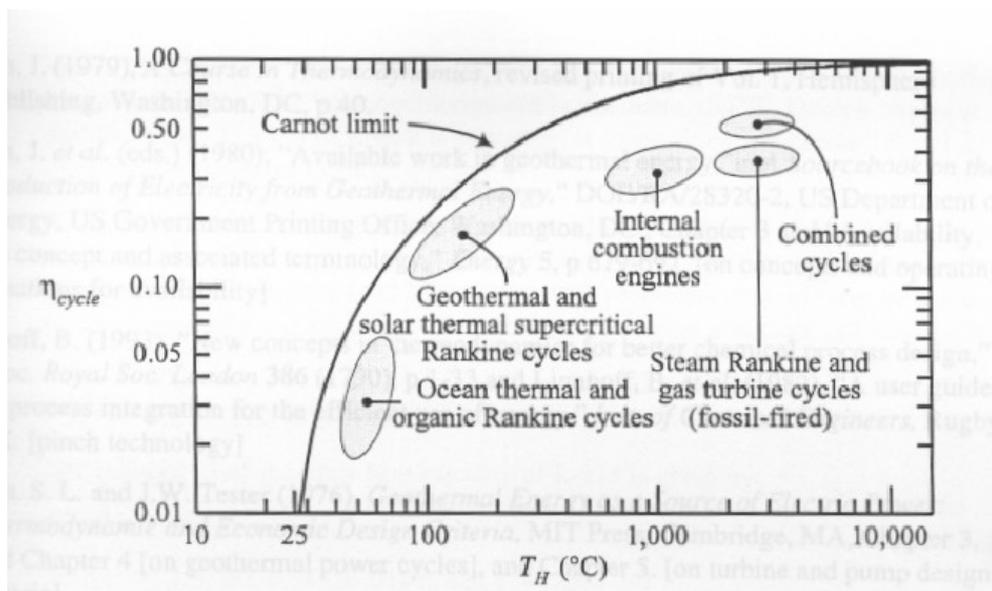


Figura 85 Ciclo Carnot.

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR, 2007.

É observado que pelos motores de combustão interna resulta em uma eficiência de energia elétrica aproximadamente superior comparada a alternativa de turbinas a gás. No caso de Aterros Sanitários, o biogás quando enviado ao sistema gerador de energia elétrica, se adotada a alternativa de motores a combustão interna, resultará em uma eficiência de energia elétrica estimada entre 30 e 34% (COELHO, 2007).



Figura 86 Motor a Biogás.

Fonte: COELHO, 2007.

Se adotada a alternativa de turbinas a gás, resultará em uma eficiência estimada entre 20 e 30% da energia do gás bioquímico gerado por resíduos sólidos (COELHO, 2007).



Figura 87 Turbina a Biogás

Fonte: COELHO, 2007.

1.32 Exemplos de uso direto do biogás.

Aplicação em caldeiras que substitui gás natural, carvão ou óleo combustível, como a empresa Ft. Wayne. IN. (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 88 Caldeira a Biogás

Fonte: CETESB, 2008

Aquecimento de Estufas, como é realizado na cidade de Nova York onde o biogás é fonte de Energia Elétrica e consecutivo aquecimento para estufa (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 89 Estufa aquecida por Biogás
Fonte: CETESB, 2008

Uso Térmico Direto (secadores, Fornos), como para produção de Artesanato (Ferraria, cerâmica e Vidro). (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 90 Artesanato produzido a partir de Biogás
Fonte: CETESB, 2008

Abastecer caminhões como a empresa Waste Management Inc., da Califórnia que planeja produzir de 37 a 75 mil litros de gás natural liquefeito (GNL) por dia abastecendo sua frota. (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 91 Caminhão movido por GNL provido a partir de Biogás
Fonte: CETESB, 2008

Produção de Metanol como matéria prima para produção de Biodiesel, como será realizado no Condado de Franklin, em Ohio (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 92 Usina para produção de Metanol
Fonte: CETESB, 2008

Transformação em Gás Natural Comprimido (GNC) para alimentar equipamentos, como é realizado no Aterro de Puentes Hills na cidade de Los Angeles, na Califórnia (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 93 Biogás transformado em GNC
Fonte: CETESB, 2008

A cidade de Denton, Texas, usa 11,3 milhões de litros de LFG como combustível em uma fábrica de Biodiesel (CETESB, WORKSHOP, 2008).



Figura 94 Biogás utilizado para produção de Biodiesel
Fonte: CETESB, 2008

Um sistema de iluminação a gás, em fase final de implementação na CTR Caieiras contará com postes de iluminação a biogás, cada um com quatro pontos luminosos que, segundo o fabricante, consomem cada, 0,4 m³ de biogás por hora. (Pecora, 2008)



Figura 95 Poste de iluminação a Biogás

Fonte: Pecora, 2008

Para a obtenção do Biometano, é necessário realizar o processo de depuração elevada do Biogás. Com isto temos a obtenção de metano de uso automotivo, de acordo com as normas Européias ($\text{CH}_4 > 97\%$; $\text{CO}_2 < 2\%$), com atendimento pleno aos rigorosos parâmetros ambientais. (Eniplan, 2009)



Figura 96 Veículo abastecido por Biometano

Fonte: Eniplan, 2009

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

1.33 Benefícios ambientais

Como já citado que o gás bioquímico gerado pela decomposição de resíduos sólidos em aterros sanitários contribui para formação do efeito estufa, os gases emitidos pela utilização de combustível fóssil também contribui para o mesmo efeito. O gráfico abaixo apresenta um comparativo entre as emissões já convertidas em CO₂ equivalente que é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do Gases de Efeito Estufa pelo seu potencial de aquecimento global.

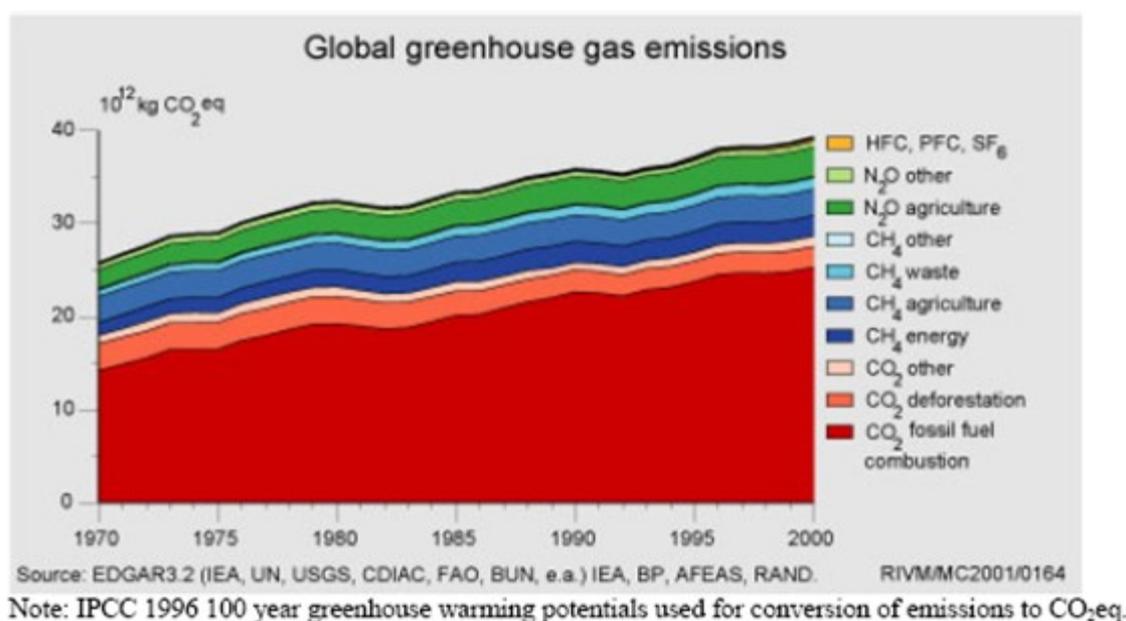


Gráfico 14 Emissão global dos gases do Efeito Estufa.

Fonte: IPCC, 2000.

A finalidade de se construir um sistema de extração, condução do biogás gerado pela decomposição de resíduos sólidos, além da destrição pela queima de Gases de Efeito Estufa contido em sua composição, seria a busca da substituição de parte de combustível fóssil pelo gás bioquímico. Este gás provido pela decomposição da matéria orgânica possui um combustível, o gás metano, quando utilizado como combustível não somaria suas emissões com as emissões geradas pela utilização de combustíveis fósseis.

Numericamente, analisando o gráfico no ano 2000, mundialmente, cerca de 40×10^{12} Kg CO₂ eq foram emitidos, onde aproximadamente $1,3 \times 10^{12}$ Kg CO₂ eq foram emitidos devido a decomposição de resíduos sólidos e aproximadamente 25×10^{12} Kg CO₂ eq foram

emitidos devida a utilização de combustíveis fósseis. Analogicamente, as emissões geradas pelos resíduos sólidos representam cerca de 5% das emissões geradas pelos combustíveis fósseis e 3,2% das emissões totais, como já mencionado.

Supondo que todo resíduo sólido mundialmente fosse encaminhado a aterros sanitários e executando sistemas de captura, condução e utilização do gás metano presente no gás gerado pela decomposição, haveria uma redução de emissões de aproximadamente $1,3 \times 10^{12}$ Kg CO₂ eq, reduzindo cerca de 3% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa.

No Brasil, alguns aterros sanitários já contem projetos de redução de GEE conforme planilha abaixo:

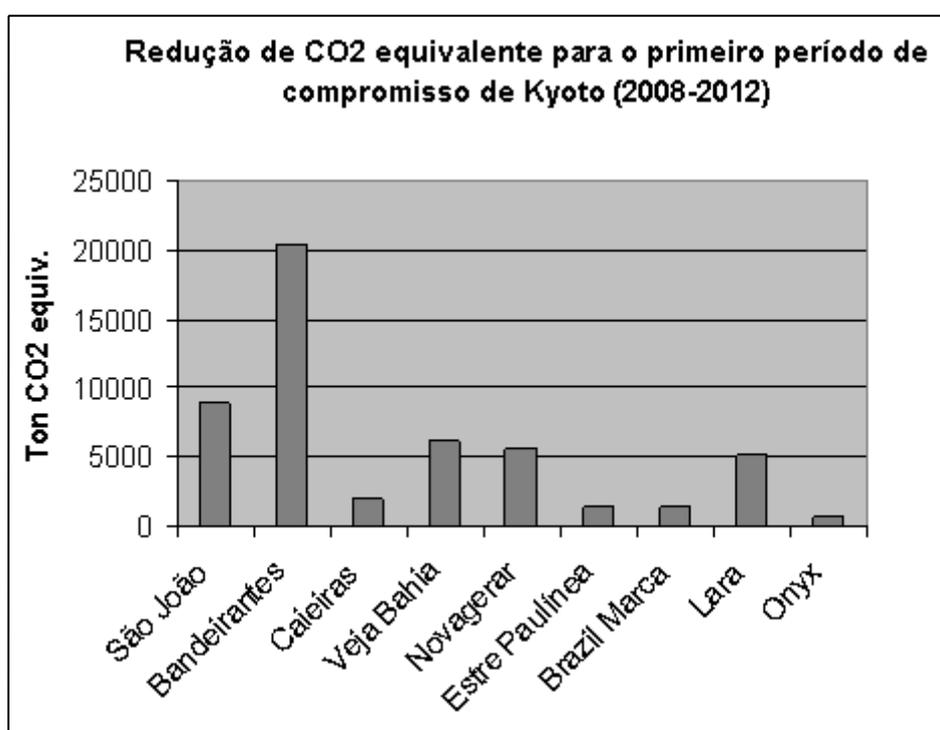


Gráfico 15 Redução de CO2 eq para o primeiro período de compromisso (2008-2012)

Fonte: Valor Econômico, 8 de novembro de 2006, p. A16.

Contudo é observado que o Brasil já vem buscando reduzir as emissões nos aterros sanitários descritos até 2012 totalizando 51.910,24 Ton CO₂ equivalente com os projetos apresentados na planilha anterior. (VALOR ECONOMICO, 2006).

1.34 Benefícios energéticos

Conforme grafico abaixo é mencionada que 19,7% da matriz elétrica mundial, 3.592 TWh em 2005 era devido ao gás natural, que contem poder calorífico de 11 KWh/m³

(MARCHES WOOD ENERGY NETWORK LTD, 2008), representando analogicamente um consumo aproximado de $1,0 \times 10^{12}$ m³/h de gás natural para geração de Energia Elétrica que representaria aproximadamente 33% da eficiência energética dos sistemas geradores.

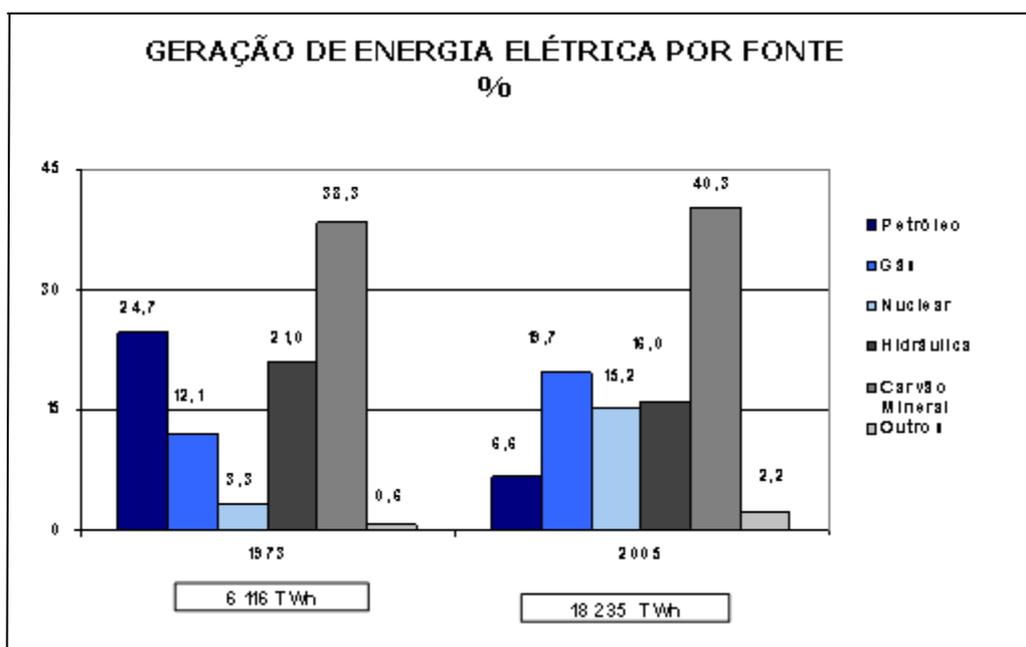


Gráfico 16 Matriz elétrica Mundial

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2008.

Retro analiticamente a conta de Kg CO₂ eq é a multiplicação por 21 de Kg CH₄ emitidos a atmosfera. Sendo dividido o valor $1,3 \times 10^{12}$ Kg CO₂ eq., que é o valor de gás metano gerado em aterro convertido em dióxido de carbono, por 21, que é o potencial de aquecimento do gás metano, é observado um valor de aproximadamente 60×10^9 Kg CH₄ gerados devida a decomposição biológica dos resíduos sólidos mundialmente. A densidade do Gás Metano é aproximadamente de 0,7 Kg/m³ ((IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009) representando então aproximadamente 85×10^9 m³/ano CH₄, ou 10×10^6 m³/h que são emitidos à atmosfera.

Correlacionando o metano emitido mundialmente devido aos resíduos sólidos com o biogás, que tipicamente apresenta valores em torno de 50% de gás metano e supondo que todo resíduo fosse destinado a aterros sanitários, observa-se uma estimativa de 20×10^6 m³/h de biogás que seriam emitidos a atmosfera mundialmente. O poder calorífico do biogás é aproximadamente 6 KWh/m³ (BRITO FILHO, 2005), resultando em um possível abastecimento elétrico mundial de aproximadamente 40 GWh, já levando em conta 33% de eficiência energética dos sistemas geradores, representando cerca de 1% de consumo do

combustível gás natural substituindo pelo biogás gerado em aterros sanitários para geração de Energia Elétrica.

No Brasil, alguns aterros Sanitários já contem projetos de aproveitamento energético a partir do biogás gerado pelos resíduos depositados conforme Tabela 9:

Tabela 11 Potencia elétrica gerado pelo Biogás de Aterros Sanitários no Brasil.

Projetos:	Estados:	Potencia Elétrica Instalada: MW	Potencia Elétrica prevista no DCP: MW	Potencia elétrica estimada: MW
Canabrava	BA	0	0	4.25
VegaBahia	BA	0	0	17.29
Manaus	AM	0	18	17.76
Marca	ES	0	11	5.98
Aurá	PA	0	0	6.35
NovaGerar	RJ	0	12	6.68
Sil	RS	0	0	2.14
Pedreira	SP	0	0	4.49
Anaconda	SP	0	0	2.3
Bandeirantes	SP	22	22	25.4
Caieiras	SP	0	0	14.56
Embralixo/Arauna	SP	0	0	1.32
Itapevi	SP	0	0	2.12
Paulinea	SP	0	0	4.21
Santos	SP	0	0	4.66
Lara	SP	0	10	20.45
Onyx	SP	0	0	1.39
Quitauna	SP	0	0	2.25
São João	SP	20	20	20.95
19 Projetos MDL	BR	42	93	164.55

Fonte: CETESB, WORKSHOP, 2008.

Contudo é observado que somente 25% da potência elétrica total estimada estão implantada nos aterros sanitários brasileiros com projetos de MDL e que cerca de 56 % da potência elétrica total é prevista para ser instalada nestes aterros sanitários citados na tabela 9. (CETESB, WORKSHOP, 2008).

CONCLUSÃO

Segundo CETESB, WORKSHOP, 2008, gás metano é o 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância, sendo que o produzido por resíduos sólidos representando 3º maior fonte mundial de emissões de metano.

Neste sentido é importante o desenvolvimento de uma engenharia específica para o aprimoramento técnico e construtivo de sistema de captura, condução e destruição por queima do gás metano contida no Biogás gerado por resíduos sólidos de aterros sanitários.

Este trabalho traz em seu bojo uma alternativa metodológica desenvolvida a partir da experiência empírica que vem alcançando sucesso.

Estimativas preliminares apresentadas neste trabalho concluem que o adequado aproveitamento do biogás de aterros pode garantir, além de aspectos ambientais na redução de (GEE), o suprimento energético mundial, possibilitando deixar de ser consumido cerca de até 1% de gás natural, uma alternativa para, que é atualmente utilizado para geração de energia elétrica.

Um sistema de captura e condução de biogás gerado em aterros sanitários, está implantado no aterro Bandeirante. Esse aterro que recebia cerca de 7.000 toneladas diárias do lixo de São Paulo foi operado por aproximadamente 30 anos e quando encerrada suas operações em 2006, armazenava cerca de 30 milhões de toneladas de lixo. Os gases nele produzidos eram queimados em drenos verticais, de maneira incipiente, lançando milhões de toneladas de poluentes na atmosfera. A utilização correta dos gases deverá reduzir a emissão equivalente a 8 milhões de toneladas de gás carbônico durante um período de 15 anos. O biogás assim produzido e beneficiado é usado para acionar 24 conjuntos moto-geradores de 925 KW/conjunto, correspondendo a uma potência líquida de 20.000 KW (ARCADIS LOGOS ENERGIA, 2008).

Vale destacar também que a implantação dos sistemas de captura e condução de biogás colabora com a eliminação de odores decorrentes da operação de Aterros Sanitários, minimizando incômodos sobre a vizinhança e desvalorização econômica das habitações dali localizadas.

O último aspecto relevante é que a geração energética a partir do Biogás, além da economia de combustíveis fósseis, representa fonte de renda e geração de empregos, já que exige equipes técnicas e administrativas para o acompanhamento constante de sua operação.

Espera-se desta forma contribuir para o desenvolvimento futuro de avaliações técnicas científicas para aprimoramento da metodologia proposta, propiciando os ganhos ambientais e energéticos citados.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. *Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2007.*
- ACEPIL. ACESSÓRIOS PARA INDÚSTRIAS LTDA. *Acervo Técnico*, 2008.
- ARCADIS LOGOS ENERGIA. Disponível em: <http://www.logoseng.com.br/logosenergia/>. Acesso em 07 dez., 2008.
- AIR SPECTRUM. Disponível em: <http://www.airspectrum.co.uk/casestudy.asp?id=1>. Acesso em 15 de jul de 2008.
- AMBIENTEBRASIL. *Portal*. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 07 de jun de 2008.
- AMBSC. Ambiental Saneamento e Concessões. Disponível em: <http://www.ambsc.com.br>. Acesso em 07 de jun de 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR – 10004. Classificação de Resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- BIDONE, F. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais*. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.
- BORBA, S. M. Análises de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro. *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2006.
- BRAGA, B. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- BRITO FILHO, L. F. Estudo de Gases em Aterros. Casos: Nova Iguaçu e Terra Brava. *Dissertação de Mestrado - Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2005.
- CABRAL, R C. *Entrevista com Eng. Química e especialista Zenaide, cedida a Rodrigo Chimenti Cabral no Lara Ltda*, em junho de 2008.
- CABRAL, R C. *Entrevista com Antonio Marcelo Camargo, cedida a Rodrigo Chimenti Cabral no Lara Ltda*, . Maio, 2008.
- CABRAL, R C. *Entrevista com Priscila Bouchi cedida a Rodrigo Chimenti Cabral no Lara Ltda*, junho de 2008.
- CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS LTDA. *Acervo técnico pessoal de Rodrigo Chimenti Cabral*, 2007.
- CETESB. *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário Resíduos Sólidos Domiciliares 2007.*
- CETESB. *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 25 de jul de 2008.

CETESB. *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*. Inventário Nacional de emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos - 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 12 de dez de 2008.

CETESB. *Eliminação e uso de energético de Biogás de Aterro*. São Paulo: Acervo Técnico (Pessoal) Rodrigo Chimenti Cabral. WORKSHOP, realizado em 10-11 de junho de 2008.

COELHO, S. T. Curso de Especialização em gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético. *Cogeração*. São Paulo: IEE USP., 2007

Comunicação Inicial do Brasil. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Disponível em: <http://www.oei.es/decada/portadas/5586.pdf>. Acesso em 12 out 2009

D' ALMEIDA, M. O., & VILHENA, A. *Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT / CEMPRE, 2000.

DANIELETTO, J. R. *Manual de Tubulações de Polietileno e Polipropileno*. São Paulo: Linha Aberta, 2007.

DANIELETTO, J. R.. *Tubos de polietileno e polipropileno*. São Caetano do Sul: Medialdea, 1990.

DELBIN, A. C. *Biogás*. São Paulo, Apresentação Biogás S.A., 2004.

ENSINAS, A. V. *Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas*. Campinas: UNICAMP, 2003.

ENIPLAN, *Da Captação do Biogás ao Abastecimento Veicular*. Disponível em www.eniplan.com.br. Acesso em 01 de abr de 2009.

FISCHER, G. *Manual de operação Máquina de solda Topo KL 315*.

FOKAL SOLUSÕES CONFIÁVEIS. Disponível em: <http://www.fokal.com.br/index.php>. Acesso em 06 de jun de 2008.

FRANCISCO, C. S. *Portal São Francisco*. Disponível em: <http://www.colegiosaofrancisco.com.br>. Acesso em 06 de jun de 2008.

GARCÍA, H. R. Comparison of anaerobic treatment of Leachates from an Urban-Solid-Waste Landfill at Ambient Temperature and at 35°C. *Bioresource Technology*, pp. 273-27, 1997.

GLOTEC. Disponível em: <http://www.glotec.com.br>. Acesso em 12 de jul de 2008.

Heleno & Fonseca Costrutécnica S.A. Disponível em: <http://www.hfc.com.br>. Acesso em 01 de abr de 2009.

IBAM. *Instituto Brasileiro de Administração Municipal*. Disponível em <http://www.iban.org.br/publique/media/boletim2a.pdf>. Acesso em 01 de jan de 2009.

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/graphics/graphics/2001syr/small/05.16jpg>. Acesso em 03 de jun de 2008.

JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO. *Caderno Dinheiro*, 27 de setembro de 2007.

LANDTEC. *Projetos de Engenharia de Sistemas de Gás de Aterros Sanitários: enfoque práticos*, 2006.

LARA. *Central de Tratamento de Resíduos LTDA*. Disponível em <http://www.lara.com.br>. Acesso em 02 de jan de 2008.

LAKATOS, E M; MARCONI, M A. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LIPOR. *Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto*. Disponível em: <http://www.lipor.pt>. Acesso em 07 de jun de 2008.

LOBO, A. Herramienta para la Evaluación. LOBO, A. *Desarrollo de MODUELO 2: Herramienta para la Evaluación de la contaminación producida em vertederos de residuos solidos urbanos*. Santander, España: Tesis Doctoral, 2003.

MCT *Ministério da Ciência e Tecnologia* Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/28739.html>. Acesso em 8 de ago de 2009.

MARCHES WOOD ENERGY NETWORK LTD. Disponível em http://www.mwen.org.uk/energy_conversions.htm. Acesso em 12 de dez de 2008.

Methane to Markets. Disponível em: <http://www.methanetomarkets.org/m2m2009/index.aspx>. Acesso em 14 de out de 2009.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 12 de dez de 2008.

NBR 8160/99 *sistemas prediais de esgoto sanitário*, 2008.

NUNESMAIA, M. *Lixo: soluções alternativas*. Feira de Santana: UEFS, 1997.

OLIVEIRA JÚNIOR, S. Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético. *Geração Termoelétrica e Cogeração*. São Paulo: IEE USP, 2007.

PAZIN, A. *Acervo Técnico*, 2007.

PECORA, V et al. *Biogás : estudo de caso em São Paulo*. Encontro brasileiro-britânico: energias renováveis para uma vida sustentável. São Paulo: IEE USP. 2008

PECORA, V et al. *Biogás :Publicação*. Potencial de geração de Energia Elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de Biogás proveniente de Aterro: IEE USP. 2008

POLIERG. *Catálogo de tubos de Poli Etileno de Alta Densidade*. 2007.

SANTEC.SANTECRESÍDUOS.Disponívelem: <http://www.santecresiduos.com.br/classe.php>. Acesso em 07 de jun de 2008,

SCHIEL, D. Educar/USP. Disponível em: http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito_estufa.html. Acesso em 12 de dez de 2008.

SISINNO, C., & ROSÁLIA, M. *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

TARTARI, L. C. Avaliação do processo de tratamento do chorume do aterro sanitário de Novo Hamburgo. *Dissertação de Mestrado*. ULBRA - Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, 2003.

TCA. TECNOLOGIA EM CONTROLE AMBIENTAL. *Boletim de Exames de Água Residuária*. Centro de Disposição de Resíduos LTDA, 2006.

TCHBANOGLOUS, G. T. *Composicion y características, generacion, movimiento y control de los gases de Vertedoro. Gestion Integral de liquidos*. s/l: McGraw Hill, 1994.

UNESP. *Universidade Estadual Paulista*. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos>. Acesso em 06 de jun de 2008.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency*. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em 06 de jun de 2008.

VALOR ECONÔMICO. (2006). *Valor Econômico*, A16.