

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO POTENCIAL DE
GERAÇÃO DE BIOGÁS EM RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS**

Ingrid Roberta de França Soares Alves

RECIFE, JULHO DE 2008.

Ingrid Roberta de França Soares Alves

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO POTENCIAL DE GERAÇÃO
DE BIOGÁS EM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Dissertação submetida ao corpo docente da Coordenação dos Programas de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá

RECIFE, JULHO DE 2008.

A474a

Alves, Ingrid Roberta de França Soares

Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos / Ingrid Roberta de França Soares Alves. - Recife: O Autor, 2008.

118 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.

Inclui bibliografia, Apêndices e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Resíduos Sólidos Urbanos. 3. Ensaio BMP. 4. Potencial de Geração de Biogás. 5. Metais Pesados. 6. Umidade. I. Título.

UFPE

624

CDD (22. ed.)

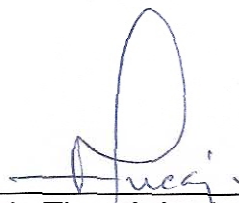
BCTG/2009-008

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS EM
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

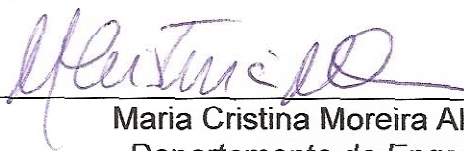
Ingrid Roberta de França Soares Alves

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

Aprovada por:



José Fernando Thomé Jucá, D. Sc.
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Pernambuco
(orientador)



Maria Cristina Moreira Alves, D. Sc.
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Pernambuco
(Examinador Interno)



Maria Bernadete Amâncio Varesche Silva, D. Sc.
Departamento de Hidráulica e Saneamento
Universidade de São Paulo – São Carlos
(Examinador Externo)

Recife, PE – Brasil
Julho de 2008

*“Quanto mais absurdo se tornam os problemas,
mais apaixonantes são os desafios”.*

Dom Hélder Câmara

Dedicatória

*Aos meus familiares e amigos, que,
com a paciência dos sábios,
abdicaram de preciosas horas de
convívio para que este trabalho
pudesse ser desenvolvido.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos momentos de força quando tudo parecia impossível.

A minha mãe, Ivana de França Soares, pelo verdadeiro amor dedicado em todos os momentos e pelo constante apoio nas escolhas da minha vida profissional.

Ao meu pai, Aladyr Alves (*in memorian*), pela presença sempre constante na minha vida e em meus pensamentos.

Aos familiares, em especial meu irmão Rodrigo pelo amor e compreensão especialmente dedicados durante a realização desta pesquisa e a minha avó, Anna Maria de França (*in memorian*) pelo maravilhoso exemplo de vida.

Ao meu Orientador, José Fernando Thomé Jucá, pela oportunidade de entrar no Grupo de Resíduos Sólidos (GRS), pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, e pela grande confiança depositada em vários momentos, muitos deles decisivos na escolha de novos caminhos.

Ao meu “Co-Orientador”, Felipe Maciel, pela grande ajuda e paciência na realização desta pesquisa, desde a enorme colaboração durante o desenvolvimento dos ensaios até a preciosa ajuda na compreensão dos resultados.

Ao engenheiro Antônio Brito, pelo apoio técnico, pelas excelentes idéias, pela prestatividade e verdadeira amizade dedicada em todos os momentos.

A bolsista IC, Suianne Melo, pela dedicação e grande auxílio na realização de todos experimentos.

Ao PRONEX e à CHESF pelo apoio financeiro, auxiliando na obtenção de equipamentos, vidrarias e reagentes.

À COMPESA e à EMLURB, pela disponibilidade de acesso e coleta de amostras imprescindíveis para a realização dos ensaios.

A todos amigos do GRS, pela contribuição individual que todos me deram, seja na área da Engenharia Civil, Química, Sanitária ou Biologia. Pela amizade acima de tudo, em especial: Rodrigo, Ericka, Alessandra, Natália, Eduardo, Odete, Régia, Eduarda, Tatyane, Rose e a todos bolsistas IC.

A Cecília Lins e Fabrícia Silva, bem mais que companheiras de mestrado e de trabalho, verdadeiras amigas.

A Joácio Morais pela grande contribuição em diversos tipos de informações, essenciais para a compreensão dos resultados e decisivas na reta final deste trabalho.

A todos os meus amigos, pelos grandes encontros e sincera amizade de todas as horas, em especial Vanessa, Vivian e Danielle pelo apoio e pelos maravilhosos momentos compartilhados em todos esses anos de amizade.

RESUMO

A produção de biogás em aterros de resíduos sólidos tem sido considerada um fator de extrema importância ambiental e econômica, despertando o interesse de diversas áreas do conhecimento. No entanto, diferentes fatores podem influenciar na biodegradação dos resíduos e consequentemente na geração de biogás. No presente trabalho, foram estudadas as influências dos metais pesados (Zn, Mn e Fe), da idade dos resíduos (recém chegados ao aterro, 1 ano e 7 anos) e da umidade (20, 40, 60 e 80%) sobre a geração de biogás. Para tanto, foram utilizados biorreatores e o ensaio do potencial bioquímico de metano (ensaio BMP), que avalia a capacidade de biodegradação dos resíduos por meio da produção total de biogás. O grau de biodegradabilidade dos resíduos orgânicos da Muribeca foi obtido através da relação (Celulose+Hemicelulose)/Lignina e indicou presença de matéria orgânica facilmente degradável nos resíduos mais novos. O metal Zn não mostrou influência significativa sobre a geração de biogás nas duas concentrações estudadas (3 e 7mg/L). Por outro lado, houve influência mais expressiva dos metais Mn e Fe apenas nas maiores concentrações utilizadas, respectivamente 7 e 20 mg/L. É possível que a baixa inibição do Fe nas concentrações inferiores a 20mg/L e a atuação do Zn, de maneira geral, como estimulador da biodegradação, tenha ocorrido devido às participações desses metais como elementos químicos essenciais e constituintes enzimáticos de processos anaeróbios. Em relação às amostras de lixo com diferentes idades, a amostra de aproximadamente 7 anos apresentou baixo potencial de geração de biogás, coerente com os padrões de resíduos considerados já estabilizados. O estudo das condições extremas de umidade mostrou que valores de baixa umidade (20%) dificultaram a degradação dos resíduos, enquanto que valores elevados (80%) favoreceram a degradação. De modo geral, o potencial de geração de biogás dos resíduos do aterro da Muribeca obtido foi de 120,52 Nm³/tonSV. Com base nesses dados, pode-se sugerir que o ensaio BMP se apresenta como excelente ferramenta experimental para a obtenção de curvas características de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos urbanos, e os parâmetros estudados podem interferir na avaliação do potencial de biogás dos resíduos, inibindo ou estimulando a biodegradação.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Ensaio BMP, Potencial de Geração de Biogás, Metais Pesados, Umidade.

ABSTRACT

Biogas production in urban solid waste landfills is considered, nowadays, extremely important to the environment and economy, which awakes interests in many fields of studies. However, different environmental factors may cause influence in the waste biodegradation process, and consequently in the biogas production. This project studied the influence over the biogas production caused by heavy metals (Zn, Mn, Fe), the age of the solid waste (new waste, 1 year old and 7 years old) and the moisture content (20, 40, 60 and 80%). Bioreactors were used and Biochemical Methane Potential tests (BMP tests) were carried out. These tests evaluate the capacity of biodegradation of the waste through the total production of biogas. The degree of biodegradation of Muribeca's landfill organic waste was taken through the relationship between (Cellulose+Hemicellulose)/Lignin and pointed the presence of organic matter of easy degradability in the newer wastes. The metal Zn did not show any significative negative influence over the biogas production in both studied concentrations (3 e 7mg/L). On the other hand, it was noticed an expressive influence of the Mn and Fe metals over the higher concentrations, 7 and 20 mg/L respectively. It is possible that the low inhibition of Fe in concentrations lower than 20mg/L and Zn action as a biodegradation stimulator have occurred because these metals are chemical elements essential to anaerobic processes as well as enzymatic constituents of the anaerobic process. Considering the samples with waste of different ages, the 7 years old waste have shown a potential of biogas production in the same profile as stabilized solid waste. The moisture content study carried in the bioreactors have shown that extremely low conditions of moisture content (20%) had made the waste degradation difficult, while in extremely high conditions (80%) the process was favored. In general, the potential of biogas production of Muribeca's landfill solid waste was 120,52 Nm³/tonSV. With this data it is concluded that BMP test is an excellent experimental tool to reproduce characteristic curves of biogas production of the studied landfill. The studied parameters may interfere in the evaluation of the biogas potencial of the waste by inhibiting or stimulating biodegradation.

Key-words: Urban Solid Waste, BMP test, Potencial of Biogas Production, Heavy Metals, Moisture Content.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Geral	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 Estrutura do Trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Resíduos Sólidos.....	4
2.1.1 Tipos de Disposição Final	7
2.1.2 Biodegradação dos Resíduos Sólidos	9
2.1.3 Microbiologia de Resíduos Sólidos.....	12
2.2 Geração de Biogás em Aterros	14
2.2.1 Características Gerais	14
2.2.2 Fatores Intervenientes no Processo	18
2.2.2.1 Geometria e operação do aterro	19
2.2.2.2 Fatores característicos dos resíduos.....	19
2.2.2.3 Aspectos do ambiente externo à célula	22
2.2.2.4 Aspectos do ambiente interno à célula.....	22
2.3 Potencial e Estimativa da Geração de Biogás	30
2.3.1 Potencial de Geração de Biogás	30
2.3.2 Estimativa da Geração de Biogás	33
2.3.2.1 Ensaio do Potencial Bioquímico de Metano (Ensaio BMP)	36
3. METODOLOGIA.....	41
3.1 Amostragem	41
3.2 Programa de Ensaios.....	41
3.2.1. Ensaio BMP com Metais Pesados (Zn, Mn e Fe).....	45
3.2.2 Ensaio BMP com Lixo de Diferentes Idades	47
3.3 Biorreatores de Bancada.....	50

3.4 Coleta e análise dos dados.....	52
3.5 Análises de substâncias orgânicas.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Caracterização dos Resíduos	55
4.1.2 Caracterização Física.....	55
4.1.2 Caracterização Química.....	57
4.2 Análise da Geração de Biogás.....	59
4.2.1 Análise do Lixo x Lodo	59
4.2.2 Análise da Influência dos Metais Pesados.....	63
4.2.2.1 Ensaio com Zinco (Zn) e Manganês (Mn).....	63
4.2.2.2 Ensaio com Ferro (Fe)	66
4.2.3 Análise dos Lixos de Diferentes Idades	68
4.2.4 Biorreatores de Bancada.....	70
4.3 Estimativa Geral do Ensaio com Metais Pesados e Biorreatores.....	74
4.4 Estimativa Geral do Potencial de Geração de Biogás dos Resíduos	75
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	79
5.1 Conclusões	79
5.2 Sugestões para pesquisas futuras	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Relação entre resíduos gerados e coletados no Brasil. (ABRELPE, 2005).	5
Figura 2.2. Composição gravimétrica dos resíduos depositados na célula da Chesf, no Aterro da Muribeca-PE (Adaptado de MARIANO <i>et al.</i> , 2007).	6
Figura 2.3 Evolução da destinação final dos resíduos no Brasil (JUCÁ, 2003).	8
Figura 2.4. Tipos de destinação final dos resíduos sólidos no Brasil (ABRELPE, 2005).	8
Figura 2.5. Sequências das rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 1993 <i>apud</i> MELO, 2003).	14
Figura 2.6. Balanço de gás em aterros (ALCÂNTARA, 2007).	15
Figura 2.7. Fases de degradação e parâmetros indicadores da estabilização da matéria	16
Figura 2.8. Principais fatores intervenientes no processo de geração de gases (MACIEL, 2003).	18
Figura 2.9 Previsão da geração de gases pelo modelo de primeira ordem (MACIEL, 2003).	34
Figura 2.10. Produção de gás durante um período de cinco anos a partir de materiais orgânicos rapidamente e lentamente decompostos num aterro (Adaptado de TCHOBANOGLIOUS <i>et al.</i> , 1993 <i>apud</i> FIRMO, 2006).	35
Figura 2.11 Curva de geração teórica de metano para o Aterro do Delta – Campinas/SP (ENSINAS, 2003).	36
Figura 2.12 Esquema do Ensaio BMP utilizado por De Araújo Moraes J. (2006).	38
Figura 2.13 Resultados padrões para gráficos de geração de biogás obtidos através de ensaios BMP (CHEN <i>et al.</i> , 1995).	40
Figura 3.1. Esquema geral das etapas do quarteamento e processamento das amostras de resíduos utilizados em todos os ensaios.	43
Figura 3.2. Primeiras etapas da preparação do Ensaio BMP: (a) Quarteamento e caracterização dos resíduos (matéria orgânica); (b) Redução do tamanho (corte e trituração em processador industrial); (c) Adição de água e mistura em liquidificador.	43
Figura 3.3. Etapas seguintes do Ensaio BMP: (a) Recirculação da mistura N ₂ /CO ₂ nos frascos; (b) Fechamento do frasco e colocação do manômetro; (c) Frascos incubados na estufa (37°C).	45
Figura 3.4 Visão geral dos lixos de diferentes idades utilizados no Ensaio BMP: (a) Lixo novo; (b) Lixo de 1 ano e (c) Lixo de 7 anos.	47
Figura 3.5 Esquema geral do biorreator anaeróbio contendo resíduos orgânicos de 1 ano.	48
Figura 3.6. Coleta da amostra de resíduos com 7 anos: (a), (b) e (c) Escavação da célula de lixo desativada; (d), (e) e (f) Retirada e separação da amostra.	49
Figura 3.7. Esquema geral dos biorreatores utilizados no experimento.	50
Figura 3.8. Preparação do ensaio com biorreatores: (a) Adição de inóculo na amostra; (b) Circulação da mistura gasosa N ₂ /CO ₂ ; (c) Colocação da prensa de metal.	51
Figura 3.9. (a) Biorreatores utilizados no ensaio com diferentes umidades; (b) Leitura da concentração dos gases dos biorreatores através do equipamento Drager.	51
Figura 4.1 Comportamento da geração de biogás nas amostras de Lixo e Lodo de Julho de 2007.	60
Figura 4.2 Comportamento da geração de biogás nas amostras com diferentes quantidades de lodo.	62
Figura 4.3 Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.	63

Figura 4.4 Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Fe em diferentes concentrações.....	66
Figura 4.5 Comportamento da geração de biogás nas amostras de lixo de diferentes idades.....	68
Figura 4.6 Comportamento da geração de biogás no biorreatores de bancada com diferentes umidades.....	71
Figura 4.7 Comportamento do potencial de geração do biogás dos resíduos da Muribeca-PE.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados em 2005 no Brasil.....	5
Tabela 2.2. Composição gravimétrica em % de resíduos em alguns países.....	6
Tabela 2.3. Condições abióticas para as quatro fases de um aterro sanitário.....	10
Tabela 2.4. Espécies de bactérias presentes em sistemas anaeróbios.....	14
Tabela 2.5. Características dos gases presentes no biogás.	17
Tabela 2.6. Constituintes traços nocivos detectados no biogás.....	18
Tabela 2.7. Medidas de metano gerado para diferentes componentes dos resíduos.....	20
Tabela 2.8. Caracterização química de resíduos sólidos urbanos.....	20
Tabela 2.9. Caracterização química de diferentes componentes dos resíduos sólidos, representada pelo percentual do peso seco.	21
Tabela 2.10. Composição elementar típica dos RSU.	21
Tabela 2.11. Concentrações inibitórias dos metais pesados na digestão anaeróbia.	25
Tabela 2.12 Concentrações mais prováveis de metais pesados em lixiviados de aterros brasileiros.	29
Tabela 2.13. Relação de diferentes elementos com a quantidade equivalente a 1 Nm ³ de biogás.....	31
Tabela 2.14 Valores de alguns potenciais de geração obtidos através do ensaio BMP relatados na literatura.	39
Tabela 3.1 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Zn e Mn.	46
Tabela 3.2 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Fe.	46
Tabela 3.3 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio com Lixos de Diferentes Idades e Mn.....	49
Tabela 3.4 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio com Biorreatores de Bancada.....	52
Tabela 4.1 Caracterização física dos resíduos orgânicos utilizados no ensaio BMP e nos Biorreatores.....	55
Tabela 4.2 Sistemas de classificação de resíduos orgânicos citados por “Waste composition analyses – Guidance for local authorities”	56
Tabela 4.3 Valores de Umidade e Sólidos Voláteis das amostras de resíduos no ensaio BMP e nos Biorreatores.....	56
Tabela 4.4 Caracterização química dos resíduos utilizados no ensaio BMP e nos biorreatores.....	57
Tabela 4.5 Principais resultados da caracterização química de resíduos relatados na literatura.....	59
Tabela 4.6. Valores da produção de biogás para as amostras de lixo e de lodo de Julho de 2007.	60
Tabela 4.7 Valores da produção de biogás para as amostras de contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.....	64
Tabela 4.8 Valores da produção de biogás para as amostras contendo Fe em diferentes concentrações.	66
Tabela 4.9 Valores da produção de biogás para as amostras de lixos de diferentes idades.....	69
Tabela 4.10 Valores da produção de biogás para as amostras de lixo dos biorreatores com diferentes umidades.	72

Tabela 4.11 Valores da produção de biogás para os resíduos orgânicos do aterro da Muribeca-PE.....	76
---	----

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública Resíduos Especiais
BMP	Potencial Bioquímico de Metano
(C+H)/L	(Celulose + Hemicelulose)/Lignina
CER's	Certificado de Emissões Reduzidas
CH ₄	Gás metano
CO ₂	Gás carbônico
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
Fe	Ferro
g	Unidade de grama
GEE	Gases de efeito estufa
H ₂ S	Gás sulfídrico
hPa	Hectopascal
Kg	Kilograma
KWh	Kilowatt hora
L	Litro
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Mn	Manganês
MO _{tot}	Matéria Orgânica Total
MW	Megawatts
NmL	Normal mililitros (0°C, 1013 hPa)
Nml/g	Normal mililitros por grama (0°C, 1013 hPa)
NmL/gMS	Normal mililitros por grama de matéria seca (0°C, 1013 hPa)
NmL/gSV	Normal mililitros por grama de sólidos voláteis (0°C, 1013 hPa)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
Ton	Tonelada
Tx.	Taxa
Vol. Máx.	Volume Máximo
Zn	Zinco
%	Porcentagem

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

Os processos de decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos sólidos urbanos resultam na geração de gases tóxicos que podem vir a afetar diretamente o meio ambiente. Diversos fatores influenciam no processo de biodegradação dos resíduos e, conseqüentemente, na geração de gases, entre eles estão: disponibilidade de nutrientes para os microrganismos, composição do lixo, idade do aterro, umidade, presença de oxigênio, temperatura e pH dos resíduos depositados nos aterros (USEPA, 1991).

Os dois constituintes principais do biogás (metano e dióxido de carbono) são considerados gases com efeito estufa que contribuem para o aquecimento global, sendo o metano presente no biogás bruto considerado o principal gás causador do efeito estufa (GEE). De fato, trata-se de um GEE muito mais potente que o dióxido de carbono, com um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO₂ (IPCC, 2001). Conseqüentemente, a captura e combustão do metano e, finalmente, sua transformação em dióxido de carbono através da combustão em queimador, motor gerador, aquecedor industrial ou em outro dispositivo resultam numa diminuição substancial das emissões de GEE.

Normalmente, o tratamento de gases em aterros sanitários é praticamente todo feito através da queima do metano (CH₄) e liberação do dióxido de carbono (CO₂). No Brasil, já existem plantas em operação com geração de energia elétrica a partir do biogás, tais como no Aterro Sanitário dos Bandeirantes-SP que tem capacidade instalada de 22MW, ou 160 mil casas, e no Aterro São João-SP, com capacidade de 24,8 MW (198,4 mil casas), entre outros (LOBATO, 2008).

Atualmente, a produção de gás em aterros de resíduos sólidos tem sido considerada fator de extrema importância ambiental e econômica, despertando o interesse de diversas áreas do conhecimento. Para tanto, existem formulações teóricas e experimentais utilizadas para estimar o potencial de geração de biogás proveniente de aterros de resíduos sólidos. O ensaio do potencial bioquímico do metano (Ensaio BMP)

apresenta-se como uma ferramenta para obtenção de dados experimentais, uma vez que avalia a capacidade de biodegradação dos resíduos através da produção total de CH₄, a partir de amostras obtidas diretamente do aterro em estudo. Diversas técnicas baseadas nesse ensaio são descritas na literatura (OWEN *et al.*, 1979; CHEN *et al.*, 1995; HARRIES *et al.*, 2001 a e b; HANSEN *et al.*, 2004; HEERENKLAGE & STEGMANN, 2005), com algumas variações, tais como tipo de pré-tratamento da amostra, teor de inóculo, técnica de medição dos gases e período de incubação.

1.2 Justificativa

A geração de biogás em aterros de resíduos sólidos depende de um efetivo consórcio de microrganismos aliado a uma grande variedade de fatores, cada um exercendo uma influência particular durante o processo de biodegradação. Os metais pesados, a idade dos resíduos, a umidade e a qualidade do inóculo são fatores que podem influenciar na atuação dos microrganismos e, consequentemente, na geração do biogás. Nesse contexto, vem sendo aplicado o ensaio do potencial bioquímico do metano (Ensaio BMP), uma ferramenta de elevada importância na avaliação da capacidade de biodegradação dos resíduos e no potencial de geração de biogás. Um maior entendimento deste processo, portanto, poderá proporcionar melhoria das condições de biodegradação dos resíduos sólidos, favorecendo, também, a elaboração de projetos que visem a coleta e o aproveitamento energético do biogás.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

- Estudar o potencial de geração de biogás em resíduos sólidos utilizando o ensaio do potencial bioquímico de metano (Ensaio BMP) e Biorreatores de Bancada como ferramenta experimental.

1.3.2 Específicos

- Estudar o potencial de geração de biogás dos resíduos sólidos provenientes do Aterro da Muribeca-PE;

- Estudar a influência dos metais pesados sobre biodegradação, através da utilização de diferentes concentrações de Zinco, Ferro e Manganês;
- Estudar a geração de biogás em lixos de diferentes idades;
- Estudar a influência da umidade sobre a geração de biogás em Biorreatores de Bancada;
- Avaliar a biodegradabilidade dos resíduos utilizados no Ensaio BMP e nos Biorreatores, através de análises de substâncias orgânicas (lipídeos, lignina, celulose e hemicelulose);

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente Dissertação está dividida em 5 capítulos. O Capítulo 1 aborda aspectos gerais da geração de biogás em aterros, além da justificativa para a realização do trabalho e dos objetivos gerais e específicos do estudo.

O Capítulo 2 consiste na Revisão Bibliográfica, onde são vistos vários conceitos sobre o tema geração de biogás, incluindo os fatores intervenientes no processo de biodegradação, tais como os metais pesados, a umidade e a idade dos resíduos. Além disso, o capítulo também apresenta algumas estimativas de geração de biogás, dentre as quais, as formulações experimentais utilizadas no presente estudo.

O Capítulo 3 trata da Metodologia empregada na Dissertação e faz uma descrição detalhada dos ensaios BMP e dos biorreatores utilizados no laboratório, bem como dos tipos de amostras analisadas em cada etapa.

No Capítulo 4 são feitas a apresentação e a discussão dos resultados. Neste capítulo é abordado de que maneira os metais pesados, a idade dos resíduos e a umidade influenciaram na geração de biogás, através do ensaio BMP dos biorreatores. Ao final do capítulo, é apresentada uma estimativa geral do potencial de geração de biogás dos resíduos do aterro da Muribeca-PE, analisando-se, de maneira geral, como as variáveis estudadas influenciaram nesse processo.

Ao final, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho, formuladas com base na discussão dos resultados obtidos, indicando, também, sugestões para futuras pesquisas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos

A geração acentuada de resíduos sólidos urbanos tem contribuído para que o lixo constitua hoje um dos grandes problemas do planeta. Os problemas associados aos resíduos, segundo Figueiredo (1995), decorrem não só de sua geração, mas também de sua evolução qualitativa, ou seja, do tipo de lixo que é produzido.

Por definição, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1987), os resíduos sólidos são os "restos das atividades humanas, considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Em geral, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional". Podem ser classificados quanto a sua natureza física (seco e molhado), a sua composição química (matéria orgânica e matéria inorgânica) e também pelos riscos potenciais ao meio ambiente (classe I - perigosos, classe IIA - não-inertes e classe IIB - inertes), além de sua origem (domiciliares, comerciais, saúde e hospitalares, varrição e feiras livres, industriais, agrícolas, entre outros) (IPT/CEMPRE, 1995).

Quando o lixo é depositado, seu potencial contaminante torna-se evidente uma vez que, após a sua disposição no aterro, inicia o processo de biodegradação, que compreende reações físicas, químicas e biológicas, resultando na formação de chorume, e biogás. O chorume, líquido de coloração escura e odor desagradável, possui elevadas cargas orgânica e inorgânica e diversas espécies de microrganismos. O biogás, por sua vez, é composto, em grande parte, por gás carbônico e metano, principais responsáveis pelo efeito estufa (PAES, 2003; ABNT, 1987).

Segundo Lins (2003), o chorume é formado pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Já os percolados ou lixiviados são formados pela percolação de águas que atravessam a massa de lixo arrastando o chorume e outros materiais em solução e/ou suspensão. Esses líquidos, juntamente com os gases, ocupam os interstícios existentes na fase sólida (PAES, 2003).

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2005) são gerados 173.524 toneladas de resíduos por dia. Desses, 164.774 toneladas são coletadas diariamente; sendo 127.135

toneladas referentes aos resíduos domiciliares e comerciais. Segundo dados da Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, citados por Jucá (2003), a geração per capita de resíduos no Brasil é de 0,74 kg/hab/dia. Tabela 2.1 e a Figura 2.1 apresentam a relação da quantidade de resíduos sólidos gerados e coletados nas cinco regiões brasileiras

Tabela 2.1. Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados em 2005 no Brasil.

Macrorregião	RSU Gerados (t/dia)	Índice de Coleta (%)	RSU Coletados (t/dia)	RSU não Coletados (t/dia)
Norte	14.365	87,5	12.569	1.796
Nordeste	46.623	89,4	41.681	4.942
Centro-Oeste	10.096	96,5	9.743	353
Sudeste	82.458	98,4	81.139	1.319
Sul	19.982	98,3	19.643	340
Brasil	173.524	95,0	164.774	8.750

Fonte: ABRELPE, 2005.

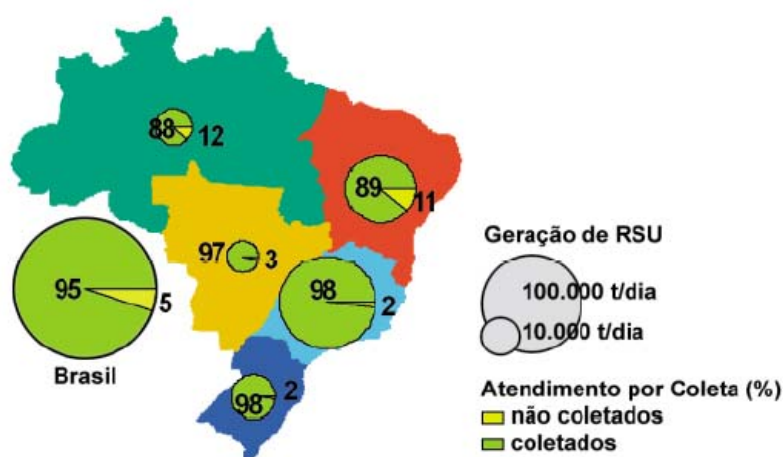


Figura 2.1. Relação entre resíduos gerados e coletados no Brasil. (ABRELPE, 2005).

Em relação à composição dos resíduos sólidos, sabe-se que o excesso de matéria orgânica entre os componentes do lixo doméstico, com valores acima de 50%, é uma característica típica dos países em desenvolvimento, associado, entre outros fatores, à falta de preparo prévio de frutas e vegetais, à pequena quantidade dos demais componentes e à falta de equipamentos domésticos adequados para o reaproveitamento dos alimentos. Sendo assim, a participação da matéria orgânica tende a se reduzir nos

países mais desenvolvidos ou industrializados, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos semipreparados disponíveis no mercado consumidor (MONTEIRO, 2001; FIRMO, 2006). A Tabela 2.2 expressa a variação das composições do lixo em alguns países.

Tabela 2.2. Composição gravimétrica em % de resíduos em alguns países.

MATERIAL	BRASIL	ALEMANHA	HOLANDA	EUA
Mat. Orgânica	65,0	61,2	50,3	35,6
Vidro	3,0	10,4	14,5	8,2
Metal	4,0	3,8	6,7	8,7
Plástico	3,0	5,8	6,0	6,5
Papel	25,0	18,8	22,5	41,0

Fonte: Adaptado de Monteiro (2001).

No entanto, de acordo com dados do Aterro da Muribeca-PE, obtidos através de resíduos dispostos na célula experimental da CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) citados por Mariano *et al.* (2007), o aterro recebe diariamente cerca de 2.600 toneladas de resíduos sólidos. A quantidade média de matéria orgânica depositada na célula representa 46% em peso dos resíduos, a quantidade média de plásticos representa 19%, seguido do item papel/papelão, que possui 12% em peso dos resíduos. Os demais materiais citados na composição gravimétrica estão apresentados na Figura 2.2.

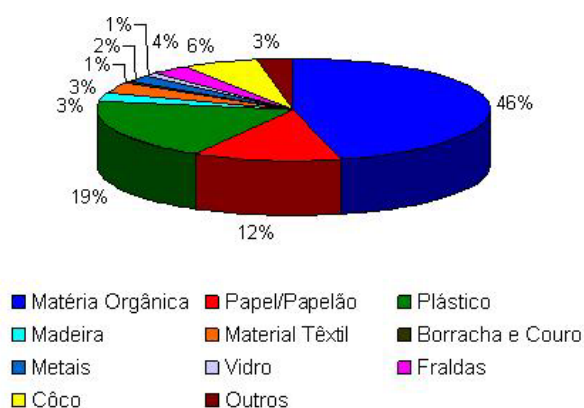


Figura 2.2. Composição gravimétrica dos resíduos depositados na célula da Chesf, no Aterro da Muribeca-PE (Adaptado de MARIANO *et al.*, 2007).

2.1.1 Tipos de Disposição Final

Villas Boas (1990) afirma que muitas das soluções encontradas para o controle da disposição e tratamento do lixo resultaram no desenvolvimento de vários métodos, tais como: incineração, pirólise, compostagem, aterros sanitários e biodigestão. Os aterros sanitários representam uma forma de disposição final adequada para os resíduos sólidos urbanos, no entanto, ainda podem ser encontrados aterros controlados ou até mesmo lixões em muitas regiões do Brasil.

O depósito de resíduos sólidos a céu aberto ou lixão é uma forma de deposição desordenada sem compactação ou cobertura dos resíduos, o que propicia a poluição do solo, ar e água, bem como a proliferação de vetores de doenças. Por sua vez, o aterro controlado é outra forma de deposição de resíduo, o qual tem como um dos poucos cuidados a cobertura dos resíduos com uma camada de solo ao final da jornada diária de trabalho com o objetivo de reduzir a proliferação de vetores de doenças (ZANTA & FERREIRA, 2003).

Segundo Bidone & Povinelli (1999), aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia (sistema de drenagem para afastamento das águas da chuva, impermeabilização da área onde os resíduos sólidos serão depositados, drenagem e tratamento do percolado, além de drenagem e queima dos gases gerados) onde se devem confinar seguramente os resíduos, evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais.

A destinação final de resíduos sólidos urbanos no Brasil se apresenta como o maior problema a ser solucionado para uma gestão ambientalmente adequada dos resíduos. Essa realidade foi constatada na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (2000) *apud* Jucá (2003), que apresenta a evolução da destinação final dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil a partir de 1991 até 2000 (Figura 2.3). Segundo Jucá (2003), o aumento da quantidade de resíduos se acentua em meados da década de 90, quando houve redução dos índices inflacionários e aumento de consumo por parte da população. Conforme o autor, o aumento nos cuidados relativos ao tratamento e destinação final é representado pela redução da quantidade de resíduos depositados em lixões e um aumento de aterros controlados e sanitários, além de um pequeno crescimento de outros tipos de tratamento, como a separação para a reciclagem de materiais, compostagem da matéria orgânica e incineração de resíduos perigosos.

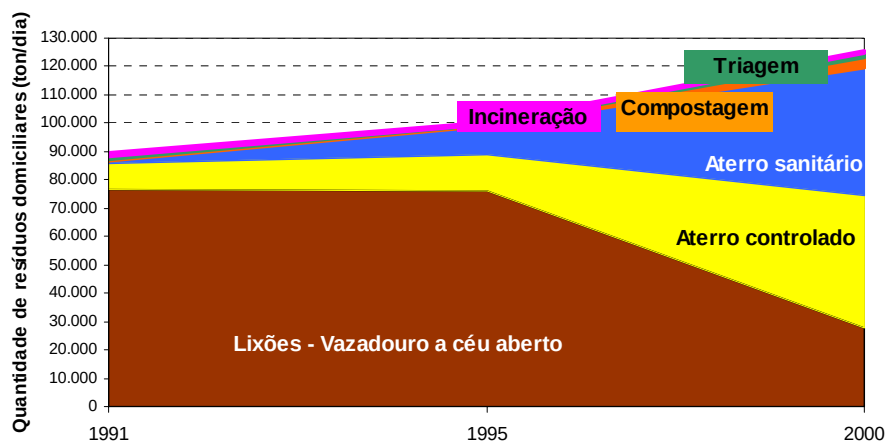


Figura 2.3 Evolução da destinação final dos resíduos no Brasil (JUCÁ, 2003).

No ano de 2002, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS identificou que, em 93 municípios brasileiros analisados, 75% dos resíduos coletados têm disposição inadequada (ABRELPE, 2005). Em 2005, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE constatou, na sua amostra de 111 municípios, 42% com disposição inadequada. A Figura 2.4 apresenta os valores mais recentes relativos à destinação final dos resíduos sólidos no Brasil.

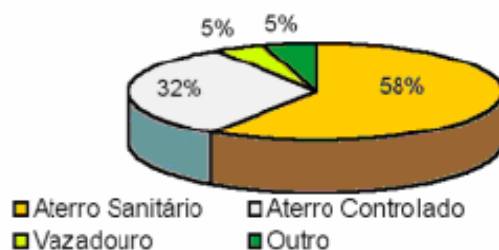


Figura 2.4. Tipos de destinação final dos resíduos sólidos no Brasil (ABRELPE, 2005).

Em contrapartida, conforme a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o fato da pesquisa ABRELPE (2005) ter registrado um melhor índice de adequação ambiental na disposição final, isto não representa um fator totalmente positivo, pois tal condição decorre de que no universo dessa pesquisa sempre comparecem as capitais de estado e cidades maiores, as quais compõem o conjunto de municípios com disposição de resíduos em aterros sanitários.

Melo (2003), comenta que a destinação final de resíduos sólidos em locais próprios como aterros sanitários, proporciona a diminuição de áreas para sua disposição,

quando comparados a outras formas de disposição final, além de permitir uma degradação mais rápida e completa dos rejeitos biodegradáveis, pois vários parâmetros são controlados. Outro fator positivo na utilização de aterros sanitários para tratamento de resíduos é a diminuição de riscos ambientais, que poderiam ser causados, por exemplo, pela proliferação de vetores de doenças ou contaminação do meio ambiente por efluentes gasosos e/ou líquidos resultantes do processo de biodegradação dos resíduos.

Os aterros sanitários apresentam, ainda, outras vantagens: baixo custo de manutenção e operação, coleta de biogás produzido durante a fermentação para posterior utilização como combustível, controle de percolado gerado pela atividade microbiana (chorume) e a reutilização dos locais de aterramento para a população (construção de parques, campos esportivos, etc.) (VILLAS BÔAS, 1990).

2.1.2 Biodegradação dos Resíduos Sólidos

A biodegradação dos resíduos sólidos foi estudada por diversos autores, no caso específico de substratos sólidos confinados em aterros sanitários. Existem, etapas da degradação da matéria orgânica, no entanto, a literatura relata que nenhum aterro apresenta uma única fase ou uma seqüência ordenada de fases de degradação, existindo um conjunto simultâneo de diferentes fases e idades, cujo desenvolvimento pode variar de acordo com as condições físicas, químicas e biológicas, associadas às células do aterro. (FARQUAR & ROVERS, 1973 *apud* PAES, 2003; POHLAND & GOULD, 1986; MERBACH Jr, 1989). Conforme os autores, são as seguintes as fases da biodegradação:

Fase I – aeróbia: Inicia-se com uma predominância de fungos e bactérias, dada a presença de oxigênio difundido no meio da massa sólida, permanecendo assim durante vários dias, até que, em função da cobertura diária do lixo e da atividade dos microrganismos passem a vigorar as condições anaeróbias. A atividade dos microrganismos leva à produção de CO₂ e água, ao consumo de oxigênio e à elevação da temperatura.

Fase II – anaeróbia não metanogênica: Nesta fase, começam a predominar as condições anaeróbias com um aumento significativo na produção de dióxido de carbono e hidrogênio pelos microrganismos anaeróbios facultativos. A glicose da primeira fase é

metabolizada por esse grupo. Ocorre formação de ácidos, com conseqüente diminuição do pH e simultaneamente se observa acentuado decréscimo de oxigênio livre, que tende a zero.

Fase III – anaeróbia metanogênica (instável): Esta fase é caracterizada pela primeira evidência da produção de metano havendo, em conseqüência, redução nas produções de dióxido de carbono e hidrogênio. Há uma produção acentuada de acetato, formiato, hidrogênio e dióxido de carbono até chegar à fase metanogênica estável.

Fase IV – anaeróbia metanogênica (estável): As produções dos gases metano e dióxido de carbono atingem uma composição constante sugerindo, segundo os autores, que na massa de resíduos que está sendo degradada, estejam prevalecendo as atividades das arqueias metanogênicas.

As condições de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH) e potencial redox (Eh) para as quatro fases estão mostradas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Condições abióticas para as quatro fases de um aterro sanitário.

Fase	Temperatura (°C)	pH	Eh (mv)
I	40 a 45	7,0 a 8,0	+100 a –100
II	37 a 40	4,2 a 6,5	-100 a –250
III	37	6,8 a 7,2	-250 a –350
IV	Ambiente	7,0 a 7,6	-350 a –600

Fonte: Lima (1985) *apud* Villas Boas (1990).

É importante ressaltar que os valores dos parâmetros estabelecidos nestas faixas podem apresentar variações, uma vez que a literatura também relata temperaturas acima desses padrões, como é o caso do Aterro da Muribeca-PE. Em 1999, a temperatura alcançava 65°C em algumas células do referido aterro com profundidade de 10 a 15m, enquanto que em 2002 a temperatura reduziu para 45°C nas mesmas profundidades (MONTEIRO *et al.*, 2002).

Pohland & Gould (1986) também descreveram as fases da degradação da matéria orgânica, acrescentando, no entanto, uma quinta fase ao modelo apresentado por Farquar & Rovers (1973), denominada “maturação final”. A seguir são apresentadas estas fases:

Fase I – Lag ou ajustamento inicial: Esta fase está associada com a disposição inicial dos resíduos sólidos e com o acúmulo da umidade dentro do aterro. Durante o primeiro

estágio de decomposição, microrganismos aeróbios degradam a matéria orgânica à CO_2 e H_2O e as reações químicas produzem considerável calor. Como são desencadeadas limitações no transporte do ar dentro do aterro, a decomposição aeróbia é responsável apenas por uma pequena parcela da biodegradação. O chorume produzido durante esta fase inicial é provavelmente resultado da umidade aterrada com o lixo, durante a compactação e construção das células.

Fase II – transição: Diminui o oxigênio e inicia-se o desaparecimento dos microrganismos aeróbios e surgimento dos anaeróbios degradadores de macromoléculas. O aceptor de elétrons muda de oxigênio para nitrato e sulfato, com formação de dióxido de carbono. No fim desta fase, concentrações de DQO (480 a 18.000mg O_2/L) e ácidos orgânicos voláteis (AOV) (100 a 3000mg/L) podem ser detectadas no chorume.

Fase III – formação de ácidos: Ácidos graxos orgânicos voláteis tornam-se predominantes através da hidrólise e fermentação contínua dos constituintes do resíduo e do percolado. O processo de biodegradação anaeróbia da fase ácida é realizado por uma população mista de bactérias anaeróbias estritas e facultativas. Bactérias anaeróbias facultativas ajudam na quebra de materiais e na redução do potencial redox para que as arqueias metanogênicas possam crescer. Ocorre diminuição de pH com concomitante mobilização e possível complexação dos metais presentes, o que resulta em um chorume agressivo quimicamente. As mais altas concentrações de DBO (1.000 a 57.700 mg O_2/L), DQO (1.500 a 71.100 mg O_2/L) ocorrem durante esta fase de formação de ácidos. Crescimento da biomassa associada a formação de ácidos e o rápido consumo de substratos e nutrientes são as características principais desta fase.

Fase IV – fermentação metanogênica: Produtos intermediários são convertidos a metano. O pH, que diminuiu em função do aparecimento de ácidos graxos orgânicos voláteis, retorna à neutralidade e o potencial de oxi-redução apresenta valores muito negativos; Os nutrientes, por sua vez, continuam a ser consumidos e a ocorrência de complexação e precipitação de metais é contínua. O conteúdo orgânico do percolado diminui com correspondente aumento na produção de gás. Uma pequena porção do lixo contendo compostos orgânicos recalcitrantes não é degradada e permanece no aterro por mais tempo. O pH se torna alcalino, sendo controlado pelo sistema tampão do bicarbonato que conseqüentemente suporta o crescimento de arqueias metanogênicas.

Fase V – maturação final: Durante o estágio final de estabilização em aterros, nutrientes e substratos disponíveis tornam-se limitados e a atividade biológica é

reduzida. A produção de gás diminui e o chorume permanece com concentrações mais baixas. Oxigênio e espécies oxidativas podem reaparecer vagarosamente. Contudo, a lenta degradação de frações orgânicas resistentes pode continuar com a produção de substâncias húmicas.

2.1.3 Microbiologia de Resíduos Sólidos

O processo de bioestabilização dos resíduos sólidos urbanos em aterros pode ser compreendida como a sucessão de três etapas distintas: decomposição aeróbia, fermentação e metanogênese. A etapa da fermentação, por sua vez, pode ser subdividida em três fases: hidrólise, acidogênese e acetogênese. Nessas etapas, ocorre contínua conversão do material orgânico particulado, complexo, em compostos mais simples, solúveis, assimiláveis pelos microrganismos (PALMISANO & BARLAZ, 1996).

A fase aeróbia apresenta curta duração, ocorre até dois meses após o aterramento. Desta forma, esta fase é responsável por uma parcela reduzida da decomposição. A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão de matéria orgânica complexa a metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia. As populações microbianas que degradam a matéria orgânica são divididas em grupos, em função da distinção metabólica (VILLAS BÔAS, 1990; JUNQUEIRA, 2000; CASSINI *et al.*, 2003; MELO, 2003):

Os microrganismos **hidrolíticos e fermentativos** constituem o grupo responsável por dois estágios da decomposição, a hidrólise e a acidogênese. Eles produzem enzimas que são liberadas para o meio a fim de hidrolisar compostos orgânicos tais como: celulose, amido, proteína, lipídeos e outros em material orgânico de menor tamanho. As proteínas são degradadas em peptídeos para depois transformarem-se em aminoácidos; os carboidratos são transformados em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos) e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina. São fermentados uma série de produtos intermediários tais como etanol, butirato, acetato, propionato e outros.

Os microrganismos **acidogênicos** assimilam os compostos dissolvidos gerados no processo de hidrólise, sendo convertidos em compostos mais simples, incluindo ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas.

Os microrganismos **acetogênicos**, ou produtores de hidrogênio, por sua vez, convertem os produtos gerados pelo primeiro grupo em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono a partir de ácidos voláteis maiores que acetato, de compostos neutros e de certos compostos aromáticos, como benzoato, por exemplo.

Os microrganismos **homoacetogênicos** são caracterizados por possuírem um metabolismo quimiolitotrófico, o qual utiliza hidrogênio e dióxido de carbono para produzir acetato. Esse grupo vem sendo enfatizado devido à importância do composto final produzido, o acetato, que tem um papel importante como precursor do metano.

As **bactérias redutoras de sulfato** são consideradas acetogênicas, produzem hidrogênio e, na ausência de sulfato, utilizam substratos orgânicos, tais como lactato, e formam acetato e hidrogênio, os quais são utilizados pelas metanogênicas. Entretanto, na presença do sulfato, esses microrganismos podem inibir a metanogênese, competindo pelo mesmo substrato que as metanogênicas.

A etapa final do processo de degradação anaeróbia é efetuada pelas *arqueias metanogênicas*, que são divididas em dois grupos principais em função de sua afinidade com diferentes substratos: as acetoclásticas que utilizam ácido acético ou metanol, na formação de metano e as hidrogenotróficas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono na formação de metano. Quando há presença de sulfato no substrato, muitos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS), provocando alterações das rotas metabólicas. Dessa forma, as BRS passam a competir com outras bactérias, tais como as arqueias metanogênicas pelos substratos disponíveis. A Figura 2.5 ilustra as fases da digestão anaeróbia, os grupos microbianos envolvidos e suas respectivas rotas metabólicas.

Devido à grande variedade de microrganismos que pode ser encontrada nos resíduos sólidos urbanos, é importante conhecer a quais grupos pertencem as espécies, e suas funções no ecossistema de um aterro. A Tabela 2.4 apresenta exemplos típicos de bactérias anaeróbias nas diferentes fases da digestão.

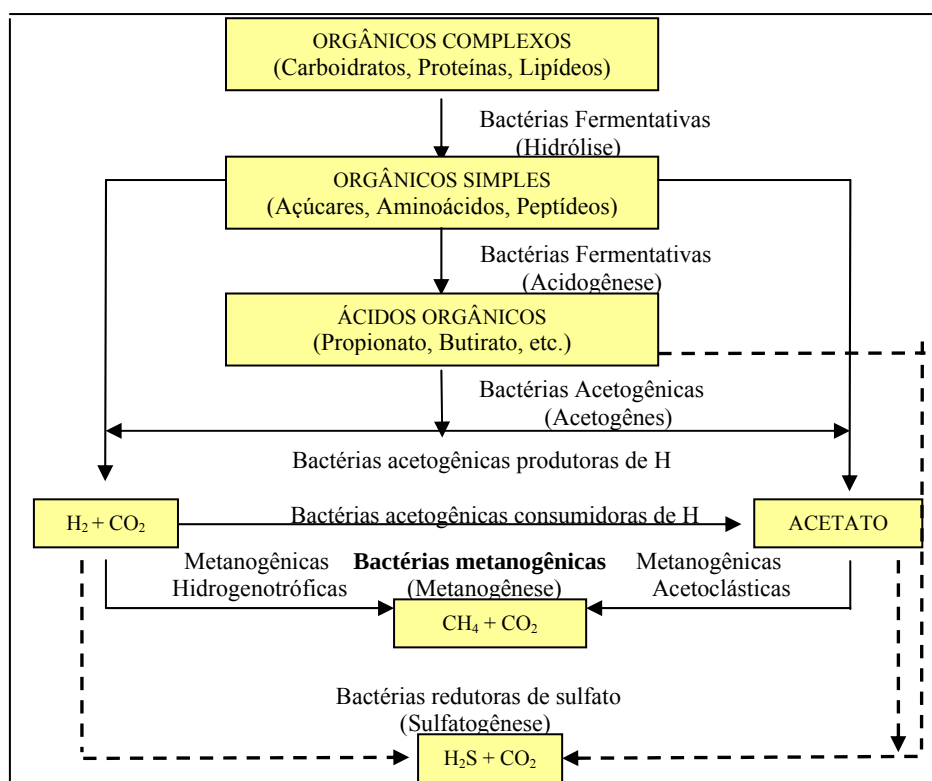


Figura 2.5. Seqüências das rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 1993 *apud* MELO, 2003).

Tabela 2.4. Espécies de bactérias presentes em sistemas anaeróbios.

Etapas da digestão anaeróbia	Espécies bacterianas
Hidrólise e Acidogênese	<i>Clostridium s</i> , <i>Acetivibrio cellulolyticus</i> , <i>Bacteroides succinogenes</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Eubacterium cellulosolvens</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Selenomonas sp.</i> , <i>Megasphaera sp.</i> , <i>Lachnospira multiparus</i> , <i>Peptococcus anaerobicus</i> , <i>Bifidobacterium sp.</i> , <i>Staphylococcus sp.</i>
Acetogênese	<i>Syntrophomonas wolinii</i> <i>S. wolfei</i> , <i>Syntrophus buswelii</i> , <i>Clostridium bryantii</i> , <i>Acetobacterium woddii</i> , várias bactérias redutoras do íon sulfato – <i>Desulfovibrio sp.</i> , <i>Desulfotomaculum sp.</i>
Metanogênese Acetoclástica	<i>Methanosarcina sp.</i> , <i>Methanothrix sp.</i>
Metanogênese Hidrogenotrófica	<i>Methanobacterium sp.</i> , <i>Methanobrevibacter sp.</i> , <i>Methanospirillumsp.</i>

Fonte: Melo (2003).

2.2 Geração de Biogás em Aterros

2.2.1 Características Gerais

Segundo Alcântara (2007) os gases produzidos durante a biodegradação dos resíduos podem percorrer diversos caminhos no interior das células. O metano, por exemplo, pode ser transformado em gás carbônico no interior do aterro pela ação de

bactérias metanotróficas, através de reações de oxidação que ocorrem na superfície da célula de lixo e, dessa forma, na presença de oxigênio atmosférico. Outras alternativas constituem em migrar para o solo circundante, através de difusão molecular; ou serem emitidos livremente para a atmosfera pela camada de cobertura ou por meio de drenos de gás. A Figura 2.7 mostra, de forma esquemática, o balanço de gás em um aterro.

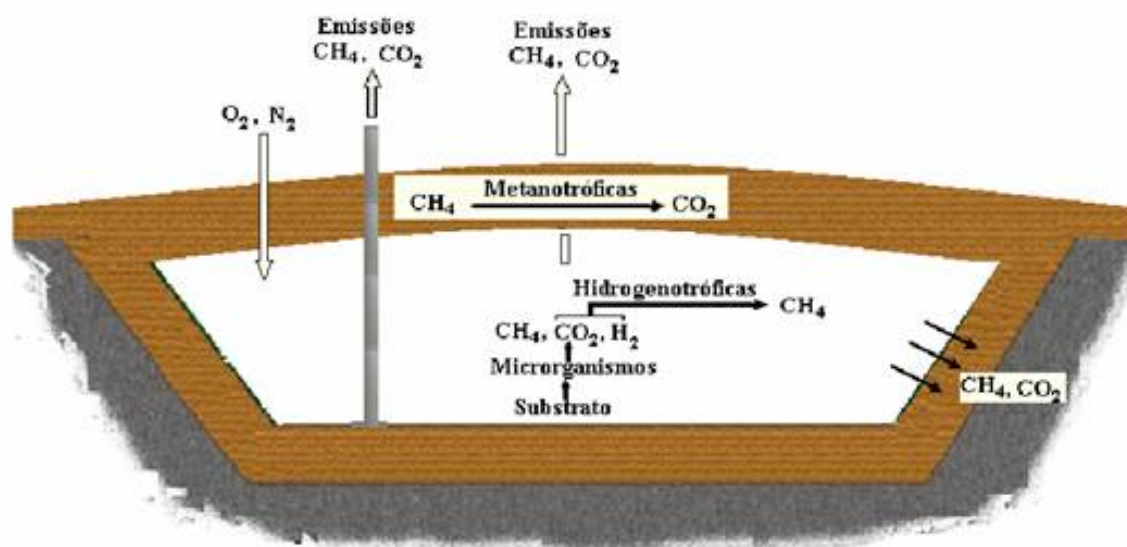


Figura 2.6. Balanço de gás em aterros (ALCÂNTARA, 2007).

A composição dos gases gerados nos aterros é função das características dos resíduos e de suas fases de decomposição. Enquanto alguns constituintes se fazem presentes em grandes quantidades, outros apenas se constituem em elementos traços. De maneira geral, os constituintes principais são aqueles que juntos representam quase a totalidade (99%) dos gases encontrados nos aterros, como o CH_4 e CO_2 . O biogás, no entanto, é composto de 45 a 60% de metano, 35 a 50% de CO_2 e, em pequena quantidade, de outros elementos como N_2 , H_2 , H_2S e NH_3 (CASSINI *et al.*, 2003). A Figura 2.8 mostra uma análise dos principais gases gerados ao longo das fases de degradação, bem como o tempo médio de duração das fases.

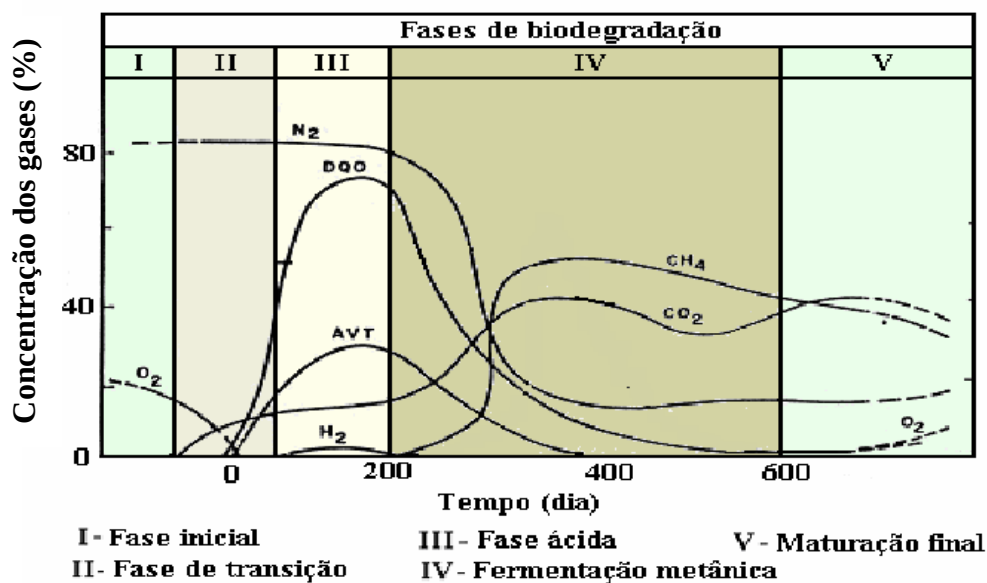


Figura 2.7. Fases de degradação e parâmetros indicadores da estabilização da matéria orgânica em aterros (Adaptado de POHLAND & HARPER, 1985 *apud* ALCÂNTARA, 2007).

Segundo Maciel (2003), no início da Fase I, fase aeróbia, o ar atmosférico ($N_2 \approx 80\%$ e $O_2 \approx 21\%$) é predominante na massa de lixo. À medida que o O_2 vai sendo consumido pelas bactérias aeróbias, o CO_2 começa a ser gerado. Na Fase II e III, fases ácidas, a concentração de CO_2 representa a maior parte dos gases gerados no aterro devido aos processos acidogênicos e acetogênicos que resultam na formação de CO_2 e H_2 . No final da Fase III, metanogênica instável, a população das arqueias metanogênicas começa a crescer, caracterizando o início da geração de CH_4 . O “biogás” é gerado na fase metanogênica, Fase IV, sendo composto basicamente pelo CH_4 e CO_2 , numa proporção de 45-60% e 35-50% respectivamente. Ao final da degradação dos resíduos orgânicos (Fase V), a concentração destes gases tende a cair e condições aeróbias (N_2 e O_2) podem vir a aparecer na massa de lixo a depender da susceptibilidade do aterro aos condicionantes atmosféricos. A Tabela 2.5 apresenta as principais características de alguns gases encontrados no biogás.

Tabela 2.5. Características dos gases presentes no biogás.

Gás	Fórmula	Conc. Típica	Densidade (Kg/m ³)	Potencial Caloríf. (kJ/m ³)	Limite Explosivo	Solub. Água (g/L)	Propriedades Gerais
Metano	CH ₄	45-60%	0,717	35.600	5-15%	0,0645	inodor, incolor, asfixiante e inflamável
Dióxido de carbono	CO ₂	40-60%	1,977	----	----	1,688	inodor, incolor, asfixiante
Nitrogênio	N ₂	2-5%	1,250	----	----	0,019	inodor, incolor
Oxigênio	O ₂	0,1-1,0%	1,429	----	----	0,043	inodor, incolor
Sulfeto de Hidrogênio	H ₂ S	0-70ppm	1,539	12.640	4,3-45,5%	3,846	incolor, muito toxico
Hidrogênio	H ₂	0-0,2%	0,090	10.760	4-74%	0,001	inodor, incolor, não tóxico e inflamável
Monóxido de Carbono	CO	0-0,2%	1,250	----	12,5-74%	0,028	inodor, incolor, tóxico, inflamável

OBS.: Densidade. do ar atmosférico $\approx 1,29\text{kg/m}^3$ Fonte: Adaptado de Tchobanoglous *et al.* (1993); Gandolla *et. al.* (1997) *apud* Maciel (2003).

A duração das fases individuais e o tempo de produção de biogás poderão variar dependendo das condições específicas de cada aterro, destacando-se: distribuição de componentes orgânicos no aterro, disponibilidade de nutrientes, conteúdo de umidade dos resíduos e grau inicial de compactação (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; ENSINAS, 2003). De uma maneira geral, a geração do biogás cresce rapidamente nos primeiros anos de disposição dos resíduos atingindo valores máximos entre 4 e 6 anos. Após esta fase, a produção de biogás decresce lentamente até cessar após 15-20 anos de fechamento da célula (JUCÁ *et al.*, 2005a).

Segundo Tabasaran (1982) e Gunnerson & Stuckey (1986) *apud* Ensinas (2003), a pequena diferença existente entre a concentração de CH₄ e CO₂ encontrada no biogás se deve a dissolução de parte do CO₂ na fração aquosa da massa de lixo. Uma composição típica do biogás pode ainda conter amônia variando de 0,1-1% e até 350 constituintes traços em pequenas concentrações que variam de 0,01 a 0,6, chegando a representar até 1% do total do biogás. A maioria destes constituintes é formada por compostos orgânicos, porém podem-se encontrar constituintes inorgânicos, como compostos metálicos voláteis: cádmio, mercúrio, zinco e chumbo (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; ENVIRONMENT PROTECT AGENCY, 1999; MACIEL, 2003). A Tabela 2.6 ilustra alguns dos constituintes tóxicos passíveis de detecção no biogás.

Tabela 2.6. Constituintes traços nocivos detectados no biogás

Nome do composto	Fórmula química	Máx. concentração detectada (ppm)	Grau de toxicidade
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	758,0	prejudicial
Hexano	C_6H_{14}	25,0	prejudicial
Xileno	$C_6H_4(CH_3)_2$	664,0	prejudicial
Benzeno	C_6H_6	52,2	tóxico
Cloreto Vinílico	C_2H_3Cl	48,1	tóxico
Metil furano	$C_2H_3OCH_3$	40,0	tóxico
Tetracloroeto de carbono	CCl_4	68,3	muito tóxico
Sulfeto de hidrogênio	H_2S	700,0	muito tóxico

Fonte: Heie (1991) *apud* Maciel (2003).

2.2.2 Fatores Intervenientes no Processo

Há diversos fatores que afetam a geração de gases em aterros de resíduos sólidos. Maciel (2003) descreve esses fatores relacionando-os com as seguintes classificações: geometria e operação do aterro, características iniciais dos resíduos e características do ambiente interno e externo à célula. A Figura 2.9 sumariza os principais fatores que afetam a geração de gases:

Geometria e Operação do aterro	Características iniciais dos resíduos	Ambiente interno	Ambiente Externo
1. Dimensão do aterro	1. Composição do lixo	1. Umidade da massa na degradação	1. Precipitação e infiltração
2. Impermeabilização do aterro	2. Umidade do lixo	2. pH nas células	2. Variação da pressão atmosférica
3. Compactação do Lixo		3. Temperatura	3. Temperatura
		4. Disponibilidade de nutrientes/bactérias	4. Evapotranspiração
		5. Presença de agentes inibidores	5. Umidade relativa do ar

Figura 2.8. Principais fatores intervenientes no processo de geração de gases (MACIEL, 2003).

2.2.2.1 Geometria e operação do aterro

Dentre as principais características da geometria do aterro para geração dos gases estão a altura da massa de lixo e o sistema de impermeabilização da célula. A altura de lixo para predomínio das fases anaeróbias deve ser maior que a profundidade de lixo influenciada pelas condições atmosféricas. O sistema de impermeabilização da célula, por sua vez, atua reduzindo os efeitos das condições atmosféricas na massa de lixo. A operação do aterro também influencia os processos de decomposição dos resíduos, haja vista que redução do volume do lixo por compactação e a utilização de pequenas áreas de operação para um rápido fechamento das células encurtarão o processo aeróbio. A compactação do lixo apresenta outra vantagem, uma vez que quanto maior a densidade alcançada, mais acentuada é a produção de gás por unidade de volume (MACIEL, 2003).

2.2.2.2 Fatores característicos dos resíduos

Os fatores de elevada importância na avaliação da geração dos gases são a composição e a umidade dos resíduos na chegada ao aterro. A umidade de chegada dos resíduos determinará a umidade inicial da massa de resíduos imediatamente após a disposição nas células, disponibilizando conteúdo de água necessário às reações químicas e possibilitando a bioconversão inicial das moléculas (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Conforme Maciel (2003), a composição dos resíduos afeta quantitativamente e qualitativamente a produção dos gases. A disponibilidade de frações mais facilmente degradáveis (carboidratos, proteínas e lipídios) significa maior quantidade de substrato para a atuação de microrganismos. Desta forma, os resíduos com grande presença de matéria orgânica devem apresentar maior potencial de produção de gases.

Na ausência da caracterização química do lixo, a gravimétrica pode ser utilizada por meio de relações indiretas baseadas em medições da produtividade de gases de outros resíduos e aterros com características semelhantes. A composição gravimétrica dos resíduos apresenta-se, portanto, como um parâmetro secundário para a avaliação do potencial de geração de gases. A geração dos resíduos depende de fatores culturais, hábitos de consumo, poder aquisitivo, fatores climáticos, nível educacional, além do

sexo e idade dos grupos populacionais. Esses fatores não apenas determinam a quantidade de resíduos gerados, mas também a sua composição (FARIA, 2002).

Para estimar o potencial de geração do biogás, a composição química dos resíduos é considerada um fator de extrema importância. Conforme Percora (2006), quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás (Tabela 2.7). De acordo com Ehrig (1991), os constituintes químicos que irão degradar com maior facilidade e que, portanto, determinam o potencial de produção do biogás são os carboidratos (celulose, hemicelulose, pectina e amido), as proteínas e os lipídios. A Tabela 2.8 mostra a presença desses compostos nos resíduos sólidos urbanos, indicando, entre diferentes compostos químicos analisados nos resíduos, o maior percentual para a celulose. A Tabela 2.9, por sua vez, ilustra a caracterização química detalhada de componentes individuais dos resíduos.

Tabela 2.7. Medidas de metano gerado para diferentes componentes dos resíduos

Componente	Metano Gerado (NmL CH ₄ /gMS)*
Gramma	144,4 (15,5)
Folhas	30,6 (8,6)
Galhos	62,6 (13,3)
Sementes	25,5 (5,6)
Restos de Comida	300,7 (10,6)
Papel	217,3 (15,0)

*Números entre parênteses representam o desvio padrão.
NmL de CH₄ por grama de matéria seca.

Fonte: Palmisano & Barlaz (1996).

Tabela 2.8. Caracterização química de resíduos sólidos urbanos.

Caracterização química do lixo urbano	Percentual do peso seco (%), segundo:		
	Pfeffer (1976), Barlaz e Ham (1993) - EUA	Barlaz <i>et al.</i> (1989) - EUA	Perez <i>et al.</i> (1992)
Celulose, açúcares, amido	58,0	51,7	32,9
Hemicelulose	11,9	11,9	5,2
Lignina	11,2	15,2	12,5
Lipídeos	5,7	---	5,9
Proteína	3,4	4,2	9,6

Fonte: Maciel (2003).

Tabela 2.9. Caracterização química de diferentes componentes dos resíduos sólidos, representada pelo percentual do peso seco.

Componente	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Grama	26,5	10,2	28,4
Folhas	15,3	10,5	43,8
Galhos	35,4	18,4	32,6
Restos de comida	50,8	6,7	9,9
Papel	87,4	8,4	2,3
Papelão	42,3	8,4	15,0

Fonte: Palmisano & Barlaz (1996).

De acordo com Palmisano & Barlaz (1996), analisados sob o ponto de vista microbiológico, os principais componentes orgânicos dos resíduos sólidos são a celulose e a hemicelulose. Para alguns pesquisadores, há uma significativa correlação entre o rendimento da conversão de biogás e a relação $(\text{Celulose} + \text{Hemicelulose}) / \text{Lignina}$ ou $(C+H)/L$, sendo esta então utilizada para indicar o grau de biodegradação dos resíduos (WANG *et al.*, 1994 e 1997; ELEAZER *et al.*, 1997 e RICHARDS *et al.*, 2005 citados por PUEBOOBPAPHAN, 2006).

Os principais nutrientes (substratos) dos microrganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Para que haja sustentabilidade das comunidades microbianas em seus ambientes, uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1 (PERCORA, 2006). A Tabela 2.10 apresenta os dados de composição típica dos elementos encontrados nos resíduos sólidos urbanos, onde pode ser constatada a presença superior do carbono quando comparado com o nitrogênio.

Tabela 2.10. Composição elementar típica dos RSU.

Componente	Porcentagem em massa (peso úmido)				
	C	H	O	N	Cinza
RAPIDAMENTE DECOMPOSTOS					
Restos de alimentos	14.44	1.89	11.33	0.78	1.56
Papel	40.94	5.65	41.41	0.29	5.65
Papelão	41.83	5.67	42.33	0.33	4.83
Resíduo de Jardim	18.92	2.34	15.05	1.35	1.80
Total	33.00	4.48	32.13	0.57	4.24
LENTAMENTE DECOMPOSTOS					
Tecidos	49.50	6.00	28.00	4.00	2.50
Borracha	78.00	10.00	-	2.00	10.00
Couro	48.00	6.00	10.00	8.00	8.00
Resíduo de Jardim	19.32	2.43	15.41	1.35	1.76
Madeira	39.50	5.00	34.50	-	1.00
Total	30.97	3.87	19.68	1.85	2.34

Fonte: Tchobanoglous *et al.* (1993) adaptado por Firmo (2006).

2.2.2.3 Aspectos do ambiente externo à célula

Segundo Maciel (2003), mudanças no ambiente interno do aterro podem ser provocadas pela variação dos condicionantes externos. Estas alterações são ocasionadas principalmente pela entrada de O₂ para o interior da massa de lixo e secundariamente por variações de temperatura. O ingresso de O₂ ocorre tanto na forma dissolvida, por meio de águas pluviais que infiltram pelas camadas argilosas, quanto na forma gasosa, devido ao aumento da pressão atmosférica local. Neste último caso, o oxigênio presente na atmosfera percola pelo sistema de cobertura uma vez que a permeabilidade das argilas (em geral não saturadas) aos gases é elevada. O grau de influência da temperatura irá depender do gradiente existente entre a temperatura local e a interna (massa de lixo) nas diferentes épocas do ano.

2.2.2.4 Aspectos do ambiente interno à célula

As características do ambiente interno à célula estão associadas à capacidade de favorecimento ou inibição das atividades bacterianas, portanto são fatores que afetam o desenvolvimento das populações microbianas. Os fatores abióticos, tais como temperatura, potencial hidrogeniônico, potencial de oxi-redução, compostos orgânicos, inorgânicos e umidade são fatores físico-químicos que exercem influência na densidade e composição da microbiota, visto que afetam a regulação e atividade de enzimas hidrolíticas dos microrganismos, influenciando na degradação dos compostos presentes nos resíduos (PALMISANO & BARLAZ, 1996).

a) Temperatura

Inicialmente, no aterro sanitário ocorrem altas temperaturas, devido às condições aeróbias e anaeróbias, seguidas por seu declínio. Em situações reais, segundo alguns autores, a temperatura geralmente não ultrapassa 45°C, mesmo durante a fase aeróbia. (BIDONE & POVINELLI, 1999). No entanto, estudos realizados Monteiro *et al.* (2002), indicaram temperaturas superiores a 60° C em algumas células do Aterro da Muribeca-PE.

As bactérias podem crescer em faixa de temperaturas mínima, ótima e máxima. Na temperatura ótima, as enzimas bacterianas estão na forma mais ativa, enquanto que

na temperatura mínima as enzimas trabalham com menor eficiência e são, portanto, mais demoradas durante a conversão da matéria orgânica complexa em subprodutos. Na faixa máxima de temperatura, pode ocorrer a desnaturação das proteínas (destruição do arranjo molecular) causando a morte celular (BARBOSA & TORRES, 1999 *apud* MELO, 2003). As arqueias metanogênicas, por exemplo, são bastante sensíveis às bruscas mudanças de temperatura e se desenvolvem naturalmente, sob temperaturas mesofílicas, de 30°C a 40°C e termofílicas, de 50°C a 60°C (PAES, 2003).

b) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH afeta o nível da atividade metabólica de vários microrganismos, os quais são bastante diversificados e sobrevivem em ambientes alcalinos, ácidos e neutros, sendo respectivamente denominados alcalofílicos, acidofílicos e neutrófilos. Os microrganismos neutrófilos predominam em vários ambientes, entretanto, os limites máximo e mínimo são estabelecidos sem, contudo, haver restrição para uma única condição de pH (BARBOSA & TORRES, 1999 *apud* MELO, 2003).

No processo de digestão anaeróbia, o pH deve estar compreendido entre 6,3 e 7,8, onde pode ser observada maior eficiência da fase metanogênica. Na fase fermentativa, a população microbiana tolera pH ácido ou alcalino. Dessa maneira, quando ocorre desbalanceamento no sistema, tem-se o acúmulo de ácidos voláteis, caso a alcalinidade proporcionada pelo bicarbonato não seja suficiente para a neutralização. Nesse caso, ocorrerá queda do pH, provocando desbalanceamento e prevalecendo a fermentação ácida sobre a fermentação metanogênica (PAES, 2003).

Segundo Melo (2003), a alcalinidade tende a precipitar os metais fora da solução, minimizando a ação inibidora dos metais pesados durante o processo degradativo. Os metais alcalinos e alcalinos-terrosos controlam a acidez, particularmente na fase metanogênica, podem atuar como estimuladores do processo.

c) Umidade

As duas variáveis que parecem ser mais críticas no controle da metanogênese de resíduos é o conteúdo de umidade e o pH (PALMISANO & BARLAZ, 1996). Além de suprir as necessidades dos microrganismos através da mobilização de nutrientes e substratos, a umidade possibilita o transporte de enzimas e outros produtos microbianos

por todo o sistema. Contudo, a umidade isoladamente não constitui um fator fundamental, mas deve-se considerar a necessidade de associação com outros parâmetros como temperatura, pH, compactação e composição do lixo (MERBACH, Jr., 1989). Até um determinado nível de umidade pode haver estímulo de produção de biogás, no entanto, infiltrações excessivas podem causar retardamento da sua produção (PAES, 2003).

Segundo alguns autores, a faixa ótima de umidade para a degradação biológica deverá estar entre 20-40%. No entanto, a literatura também recomenda desde um mínimo de 25% até a umidade ótima de 40 a 70% (BARLAZ *et al.*, 1990; PALMISANO & BARLAZ, 1996; BIDONE & POVINELLI; 1999; US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1995 *apud* MACIEL, 2003).

Vale salientar que a entrada de uma carga extra de oxigênio dissolvida em água favorece o incremento da atividade metabólica de microrganismos aeróbios ou anaeróbios facultativos, provocando aumento da temperatura no interior da massa do resíduo sólido (JUNQUEIRA, 2000). No entanto, o teor de umidade e o movimento de umidade são variáveis separadas, afetando a metanogênese do aterro. O fluxo de umidade através de um leito de resíduos aumenta a taxa de produção de metano de 25 a 50% em relação ao mesmo teor de umidade, sem fluxo. Este aumento da taxa metanogênica é atribuído a uma distribuição mais uniforme dos nutrientes, aos precursores metanogênicos e ao acerto do pH (PAES, 2003).

d) Potencial Redox (Eh)

O potencial redox, chamado de energia primária, é a energia suprida por compostos orgânicos ou inorgânicos durante as reações químicas, sendo que sua utilização como fonte de energia está relacionada a reações de oxi-redução, envolvendo transferência de elétrons. O pH e a temperatura influenciam na medição do potencial de oxi-redução nos resíduos dos aterros. A Eh ótima para produção de CH₄, conforme Bidone & Povinelli (1999), deve ser menor que -200mV.

e) Metais Pesados

Os metais pesados estão presentes no lixo urbano em grande quantidade por estarem em componentes de pilhas, baterias, jornais, tintas, tecidos, enlatados, entre outros. As pilhas e baterias têm como princípio básico converter energia química em energia elétrica utilizando um metal como combustível. Apresentando-se sob várias formas (cilíndricas, retangulares, botões), podem conter um ou mais dos seguintes metais: chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag), lítio (Li), zinco (Zn), manganês (Mn) e seus compostos. Os metais pesados estão entre os principais agentes tóxicos verificados em processos anaeróbios, (BIDONE & POVINELLI, 1999; MONTEIRO, 2001). A Tabela 2.11 mostra as concentrações dos metais capazes de inibir o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Tabela 2.11. Concentrações inibitórias dos metais pesados na digestão anaeróbia.

Cátions	Concentração Inibitória (mg/L)
Fe ⁺⁺	1 – 10
Zn ⁺⁺	4 – 10
Cd ⁺⁺	7 – 10
Cu ⁺	10 – 12
Cu ⁺⁺	10 – 16

Fonte: Lima & Nunes (1994) *apud* Melo (2003).

Metais não são biodegradáveis e podem até se acumular em concentrações potencialmente tóxicas. Em estudos a respeito do desempenho de digestores anaeróbios, foi encontrado que a toxicidade de metais pesados é uma das maiores causas de falhas em digestores. O efeito tóxico dos metais é atribuído muitas vezes por causar distúrbios nas funções e estruturas enzimáticas pela ligação de metais com tióis (grupos -SH) ou outros grupos orgânicos em moléculas protéicas, ou até mesmo por substituir metais que ocorrem naturalmente em grupos prostéticos de enzimas de muitos organismos (CHEN *et al.* 2008).

Sendo assim, o metabolismo dos microrganismos pode ser afetado por metais em diversos aspectos, tais como respiração, síntese protéica e transporte por membrana, acarretando na diminuição dos níveis de crescimento, aumento da fase lag e mudanças na morfologia e fisiologia dos microrganismos. No entanto, alguns microrganismos

podem adquirir adaptações fisiológicas e desenvolver habilidade de crescer em ambientes contaminados por metais pesados (GOMES *et al.*, 1998).

Vale salientar que vários fatores podem determinar se os metais pesados podem ser inibitórios ou estimulatórios, entre eles estão a concentração total do metal, as formas químicas do metal (metais em solução são as formas tóxicas aos microrganismos) e fatores relacionados a processos, tais como pH e potencial redox. Em geral, acredita-se que microrganismos acidogênicos são mais resistentes a toxicidade de metais pesados do que as metanogênicas (ZAYED & WINTER, 2000).

Segundo Lima & Nunes (1994) citados por Melo (2003), durante a hidrólise e acidogênese há uma tendência de solubilização dos metais pesados, no instante em que eles são liberados da fração sólida e incorporados ao chorume. Entretanto, durante a acetogênese há uma tendência de aumento da concentração de metais no meio em função da lixiviação microbiana e da acidez. Neste período, os metais pesados conferem mais periculosidade, se forem liberados para o meio ambiente. Na fase metanogênica ou maturação da célula de lixo, há um declínio brusco da concentração de metais em função da precipitação química decorrente da capacidade de tamponamento do meio. Neste momento, inicia-se a formação de hidróxidos, fazendo com que os metais tornem-se menos solúveis e, portanto, menos perigosos.

O perfeito entendimento dos mecanismos de captação dos metais pesados, pelas células microbianas, é de suma importância para o desenvolvimento do processo de concentração, remoção e recuperação dos metais (RIZZO & LEITE, 2004). O conhecimento das reações químicas ou bioquímicas envolvidas na captação do metal torna capaz o controle e a especificação de importantes parâmetros de processo, como, por exemplo, a taxa de captação e a seletividade. Dois fenômenos podem estar envolvidos na captação de metais por biomassas, sendo denominados de bioacumulação e biossorção (MESQUITA, 1995).

De acordo com o mesmo autor, o termo bioacumulação é definido como a captação de espécies metálicas através de processos que requerem atividade metabólica, portanto, células vivas. Neste processo, o metal é captado pelas células vivas que utilizam diferentes caminhos, como o transporte através da membrana celular, a síntese de proteínas intra e extracelulares com capacidade de formar ligação com metais, a precipitação extracelular e a formação de complexos como resultado da excreção de metabólitos.

Macaskie *et al.* (1987), em estudos com células de *Citrobacter sp*, verificaram que quando o microrganismo é crescido em presença de glicerol-2-fosfato, como única fonte de fósforo, há a indução da atividade de uma enzima fosfatase levando à liberação de HPO_4^{2-} . Isto possibilita a precipitação estequiométrica do metal na superfície celular sob a forma de partículas de fosfato daquele elemento metálico.

A precipitação extracelular do metal sob a forma de sulfetos, é um outro exemplo de bioacumulação, já que envolve metabolismo ativo. Neste caso, ocorre uma precipitação do metal, após reação com o H_2S gerado pelas bactérias redutoras de sulfato, sob a forma de sulfeto metálico insolúvel (MESQUITA, 1995).

O termo biossorção se refere à forma de captação de metais onde não há o envolvimento de atividades metabólicas, portanto um mecanismo passivo. Esse processo envolve interações físico-químicas entre o íon metálico e a superfície da biomassa, a qual pode estar até mesmo morta (inativa). Mecanismos básicos de ligação química, como complexação, quelatação, troca iônica, adsorção ou microprecipitação podem estar atuando em vários graus, na imobilização de uma ou mais espécies metálicas (RIZZO & LEITE, 2004).

Ainda segundo os autores, as características físico-químicas da solução do metal a ser analisado desempenham papel importante nesta forma de captação de metais. Paredes celulares de Procariontes e Eucariontes contêm diferentes polissacarídeos e estruturas aniônicas devido à presença de grupos ionizáveis tais como carboxilas, hidroxilas e fosfatos. Desta forma a parede celular apresenta grande potencial para captação de metais pesados. Beveridge & Murray (1980) examinaram a captação de uma variedade de metais pela parede celular de *Bacillus subtilis*, modificada quimicamente pela adição de grupos ionizáveis, sendo constatada a complexação, a troca iônica e a precipitação de hidróxidos ou sais na parede celular.

A biossorção, por ser um processo independente do metabolismo celular, se apresenta freqüentemente reversível por métodos não destrutivos, e muitas vezes pode ser considerada análoga a um processo de troca iônica. Já a bioacumulação, processo dependente do metabolismo, se apresenta, na maioria das vezes, como uma forma irreversível (compartimentação intracelular, ligação com algumas proteínas), necessitando, portanto, de uma recuperação do metal de forma destrutiva. Isto torna as biomassas que captam metais por mecanismos de biossorção mais atraentes do ponto de vista econômico, servindo de base para o desenvolvimento de “biossorventes” com potencial para aplicações industriais (RIZZO & LEITE, 2004).

O potencial de influência dos metais pesados no favorecimento ou inibição das atividades bacterianas é de grande importância para o entendimento do comportamento da geração de gases em aterros. Ensaios de fitotoxicidade realizados por Melo e colaboradores (2002), constataram que com o aumento da profundidade de uma célula de lixo houve diminuição do número de microrganismos, da toxicidade dos resíduos e dos níveis de metais pesados, entre eles, Zinco, Cromo, Chumbo e Cobre. Entretanto, os autores sugerem que o número baixo de microrganismos seja devido mais provavelmente à idade avançada da célula do que à concentração de metais pesados, uma vez que o substrato ali depositado estava mais degradado do que o resíduo sólido encontrado nas camadas superficiais.

A literatura também apresenta resultados de concentração de vários metais pesados em lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos. Conforme Oliveira & Jucá (1994), os valores das faixas de concentração de alguns metais pesados analisados, tais como Ferro, Alumínio e Cobre, confirmam a disposição de materiais provenientes das indústrias, aumentando a recalcitrância do percolado, e alertam para a problemática da disposição conjunta de resíduos urbanos e industriais.

Diversas referências citadas na literatura relatam que os metais pesados encontrados em maiores concentrações nos lixiviados de diversos aterros de resíduos sólidos são ferro, manganês e zinco (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; MUÑOZ, 2002; MELO, 2003; MONDELLI, 2004; CHRISTENSEN *et al.*, 2001 *apud* SCHUELER, 2005; FERREIRA, 2006; SOUTO & POVINELLI, 2007). Em Souto & Povinelly (2007), foram apresentados resultados de características mais prováveis de lixiviados de aterros brasileiros e a Tabela 2.12 ilustra os dados relacionados aos metais pesados descritos no trabalho.

Ferro, manganês e zinco são considerados microelementos, uma vez que, funcionam como grupos prostéticos ou cofatores enzimáticos, participando de diversas reações químicas, tais como as que ocorrem durante o processo da biodegradação. De interesse mais imediato para a ação enzimática estão os microelementos essenciais, necessários em quantidades diárias comparadas as das vitaminas, isto é, apenas miligramas ou microgramas. Algumas enzimas requerem para o exercício da atividade um componente químico adicional chamado cofator. Este pode ser inorgânico, como Fe, Mn ou Zn, ou pode ser uma molécula orgânica complexa chamada coenzima (LEHNINGER, 1991; MANAHAN, 2005).

Tabela 2.12 Concentrações mais prováveis de metais pesados em lixiviados de aterros brasileiros.

Variável	Faixa Máxima (mg/L)	Faixa Mais Provável (mg/L)	FVMP*
Ferro	0,01 - 260	0,01 - 65	67%
Manganês	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79%
Cobre	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61%
Níquel	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71%
Cromo	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89%
Cádmio	0 - 0,26	0 - 0,065	67%
Chumbo	0,01 - 2,8	0,01 - 0,5	64%
Zinco	0,01 - 8,0	0,01 - 1,5	70%

*Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Adaptado de Souto & Povinelli (2007).

O Ferro está entre os microelementos mais bem conhecidos com respeito à função biológica desempenhada. As enzimas que contêm ferro constituem a importante classe das ferroatenzimas, e também atuam em reações de transferência de elétrons em células animais, vegetais e bacterianas. Os íons Zn^{2+} e Mn^{2+} também são componentes essenciais de aproximadamente uma centena de enzimas diferentes (LEHNINGER, 1991).

No entanto, qualquer elemento, essencial ou não, pode ser tóxico a partir de determinadas concentrações. Para cada elemento químico essencial existe uma faixa de concentração considerada ótima para um organismo. Nesta faixa de concentração o organismo consegue desenvolver corretamente as funções que dependem deste elemento, porém não pode estar em concentrações excessivamente altas para que não produza efeitos tóxicos. Abaixo desta faixa, ocorre a deficiência deste elemento, podendo ocorrer como consequência efeitos patológicos, inclusive a morte do organismo. Acima desta faixa ótima também aparecem efeitos patológicos ou morte do organismo derivados da toxicidade do elemento (Wikipedia-Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Elemento_qu%C3%ADmico_essencial>. Acesso em 28/01/07).

Tais elementos também apresentam outras aplicabilidades, o que pode contribuir para sua presença em aterros, decorrentes dos restos das atividades nas quais estão associados. O Ferro é o metal de transição mais abundante da crosta terrestre e o quarto de todos os elementos. É encontrado em numerosos minerais, e o aço é a liga metálica

de ferro mais conhecida, sendo este o seu uso mais frequente. O zinco é empregado na fabricação de ligas metálicas como o latão e bronze, além de ser utilizado na produção de telhas e calhas residenciais. O Manganês é usado em liga com o ferro nos aços e em outras ligas metálicas (MANAHAN, 2005)

2.3 Potencial e Estimativa da Geração de Biogás

2.3.1 Potencial de Geração de Biogás

A quantidade total de gases gerada em aterros é produzida distintamente ao longo do tempo de acordo com as fases de decomposição dos resíduos e os inúmeros fatores intervenientes no processo de degradação. Em geral, o potencial de geração de gases nos aterros pode atingir cerca de 400 m³/ton de lixo seco. Considerando a umidade média dos resíduos em 40%, estes valores caem para faixa de 240 m³/ton de lixo aterrado (base úmida). Outros autores afirmam que os resíduos urbanos apresentam capacidade de produção de gases de cerca de 200 m³/ton de lixo (base úmida) ao longo de todo processo de degradação (EL-FADEL *et al.* 1997; GANDOLLA *et al.* 1997 *apud* MACIEL, 2003). Segundo Henriques (2004), cerca de 100 a 200 m³ de biogás são produzidos por tonelada de RSU decompostos dependendo de sua composição, condições do meio e operação.

Alguns autores coletaram dados de aterros sanitários de diferentes países e constataram que a taxa de produção de gás nos aterros situa-se entre 0,8 e 20 m³/ton/ano a depender da idade do lixo. Estudos semelhantes relataram que a mesma varia de 1 à 14 m³/ton/ano (WILLUMSFN E BACH (1993) e EL- FADEL *et. al.* (1997) citados por MACIEL, 2003). Segundo Jucá *et al.* (2005b), a estimativa de geração de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca-PE encontra-se no intervalo de 1 a 15, 5m³/ton/ano e a produção anual está na faixa de 8.400 a 11.400m³/hora.

Em relação à vazão de gases encontrados em aterros, estudos realizados no aterro do Delta (Campinas-SP) relatam que a vazão total de biogás calculada foi de 1874,06 Nm³/h, sendo a de metano equivalente a 1057,30Nm³/h. Valores de potencial de geração de metano para o Aterro dos Bandeirantes atingem índices da ordem de 125 m³CH₄/ton de lixo e no Aterro do Delta, por sua vez, foi estimada em 157m³CH₄/ton de lixo (ENSINAS, 2003).

Uma pesquisa desenvolvida por Silva (1983) *apud* Percora (2006), mostrou que de acordo com a quantidade de metano no biogás, o seu poder calorífico aumenta, pois o CO₂, o outro produto da digestão anaeróbia, é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser mais queimado. A Tabela 2.13 mostra a quantidade a que equivale 1 Nm³ de biogás (cujo poder calorífico é em média 5.500kcal).

Tabela 2.13. Relação de diferentes elementos com a quantidade equivalente a 1 Nm³ de biogás.

Combustível	Quantidade Equivalente a 1 Nm ³ de biogás
Carvão Vegetal	0,8 Kg
Lenha	1,5 Kg
Óleo Diesel	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gasolina Amarela	0,61 L
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,45 L
kWh	1,43
Álcool Carburante	0,80 L
Carvão Mineral	0,74 Kg

Fonte: Percora (2006).

O poder calorífico do biogás depende basicamente da porcentagem de metano nele existente. O metano puro, em condições normais de temperatura (0°C) e pressão (1 atm), possui um poder calorífico de 9,9 kWh/m³, enquanto o biogás com concentração variando entre 50% e 80% de metano tem um poder calorífico inferior de 4,95 a 7,9 kWh/m³ (CCE, 2000 *apud* FIRMO, 2006).

Conforme Ensinas (2003), com base na metodologia sugerida no IPCC (1996) (International Panel on Climate Change) a partir de dados estatísticos de população e fatores estimados de geração de resíduos, foi possível estabelecer uma quantidade de emissões de gás metano por resíduos sólidos no Brasil. No país, são geradas aproximadamente 60.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia com uma taxa de coleta de 80%, sendo capaz de produzir em média até 650.000 toneladas de metano por ano, chegando a atingir, no ano de 1994, 677.000 toneladas.

Estima-se uma potência elétrica gerada, somente pelos resíduos sólidos urbanos no Brasil, de aproximadamente 300 MW. De acordo com Jucá *et.al* (2005b), o aterro de resíduos sólidos da Muribeca-PE possui uma capacidade instalada no intervalo de 10 a 13,6 MW. A usina termelétrica do aterro dos Bandeirantes, no estado de São Paulo, gera

22 MW, enquanto que no Aterro São João são gerados 24,8 MW. No Reino Unido, em 1993, já existiam 42 instalações gerando 72 MW eletricidade (ENSINAS, 2003).

O biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável, várias vantagens sociais, ambientais, estratégicas e tecnológicas podem ser observadas já que diversos incentivos, como os projetos de comercialização de créditos de carbono, têm sido utilizados principalmente por países da União Européia (FIRMO, 2006).

Para Percora (2006), os projetos de mitigação do efeito estufa ao redor do mundo têm dado ênfase às alternativas que visem controlar as emissões de carbono tais como utilizar a energia de maneira mais eficiente, diminuindo assim a necessidade de aumento no consumo energético ou substituindo os recursos energéticos derivados de combustíveis fósseis por outros com menores emissões de carbono por kWh consumido, como é o caso das fontes renováveis (eólica, solar, biomassa, etc.).

Com a finalidade de auxiliar países em desenvolvimento a atingir o desenvolvimento sustentável e aos países desenvolvidos a alcançar suas obrigações de redução, foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, decorrente do Protocolo de Kyoto. Este instrumento estabelece que os países desenvolvidos, caso não consigam ou não desejem cumprir suas metas de redução de gases poluentes até 2012, poderão comprar dos demais países títulos conhecidos como Certificados de Emissões Reduzidas (CER's) ou Créditos de Carbono (ABRELPE, 2005).

A redução das emissões é obtida através de projetos de países desenvolvidos realizados nos países em desenvolvimento, na forma de investimentos em tecnologias mais limpas, eficiência energética e fontes alternativas de energia. Com isso, projetos de aproveitamento desse recurso são passíveis de comercialização de créditos de carbono, onde a tonelada de CO₂ equivalente é atualmente comercializada, em média, por 17 euros (PECORA, 2006; VANZIN, 2006).

Para estudo de viabilidade técnico-econômica de aproveitamento do gás gerado em locais de destinações de resíduos sólidos urbanos, vários municípios brasileiros foram selecionados pelo Ministério das Cidades, entre os quais Recife-PE e Olinda-PE. De acordo com o Ministério de Ciência e Tecnologia, atualmente, 27 aterros sanitários no Brasil estão com projeto em validação/aprovação no âmbito do MDL (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24390.pdf>. Acesso em: 05/05/2008).

Entre os aterros candidatos a um projeto de utilização de biogás já identificados em estudos de pré-viabilidade conduzidos pelo Banco Mundial – BIRD estão Gramacho

(Rio de Janeiro-RJ); Muribeca (Recife-PE) e Santa Tecla (Gravataí-RS). No aterro da Muribeca, os resultados da análise econômica indicaram a viabilidade do aproveitamento do gás para queima, em condições bem especiais para geração de energia. Alguns aterros já estão com comercialização de créditos de carbono iniciada, nos termos do MDL, entre eles: Aterro dos Bandeirantes (São Paulo-SP), Central de Tratamento de Resíduos – CTR/Nova Iguaçu (Nova Iguaçu-RJ), Aterro São João (São Paulo-SP), Aterro Sanitário de Salvador da Bahia ou Aterro Metropolitano Centro (Salvador-BA) e Aterro de Caieiras (Caieiras-SP) (ABRELPE, 2005; Prefeitura da Cidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em 04/06/2008).

É importante enfatizar que o aproveitamento energético do metano gerado em aterros requer valores mínimos de produção para que seja viável economicamente, portanto muitas vezes é interessante que as taxas de degradação do material sejam aumentadas, o que pode ser realizado, por exemplo, com a reinjeção do chorume no aterro, que aumenta o teor de umidade da massa de lixo e acelera as reações de degradação (ENSINAS, 2003).

Ainda conforme o autor, o dimensionamento de um projeto de aproveitamento de biogás em aterros para a geração de energia elétrica deve considerar o fato da produção de biogás ser viável ao longo do tempo, buscando assim uma maximização da produção de energia e do uso do biogás. Além disso, devem ser considerados fatores como os custos dos equipamentos necessários, o preço de venda da eletricidade e as penalidades previstas em contrato com interrupções na geração de energia.

2.3.2 Estimativa da Geração de Biogás

A previsão da geração de biogás é de fundamental importância para estimar o balanço energético e econômico de instalações de recuperação de gás. Para determinação adequada do potencial de geração de gases de um aterro de resíduos sólidos existem as formulações teóricas e experimentais. As formulações teóricas, muitas vezes, consideram parâmetros de geração de gases obtidos em outros aterros, com condições experimentais próprias. As formulações experimentais consideram as medições reais dos gases gerados, utilizando-se lisímetros, digestores ou células experimentais (JUCÁ *et al*, 2005b). Tais formulações podem ser aperfeiçoadas se utilizarem também os resíduos coletados no aterro em estudo para realização de ensaio

em laboratório, do tipo ensaio BMP (Potencial Bioquímico de Metano), que será discutido com mais detalhes no tópico 2.3.2.1.

As formulações teóricas são utilizadas para descrever a produtividade do biogás em função do tempo, podendo assumir: (1) Geração constante de biogás ao longo do tempo sendo mais utilizada para avaliação global ou nacional da emissões de CH_4 – Modelo de Ordem Zero; (2) Incorporação do efeito geral da biodegradação dos resíduos – Modelo de Primeira Ordem e (3) Distinção das diversas frações existentes nos resíduos sob aspectos de biodegradabilidade (fácil, moderada ou dificilmente degradável) – Modelo de Segunda Ordem ou Multi-fase (JUCÁ *et al*, 2005b).

Conforme Maciel (2003), a modelagem de ordem zero assume que a geração de biogás é “constante” ao longo do tempo. Apesar desta enorme simplificação, esta ainda é utilizada quando se deseja prever as emissões de gases em aterros sanitários em nível global ou nacional. O modelo de primeira-ordem já incorpora o efeito do tempo de degradação dos resíduos, descrevendo, inicialmente, um crescimento da taxa de produção de gases, seguido de um decaimento exponencial. A Figura 2.10 apresenta a previsão da geração de biogás pela modelagem de primeira-ordem.

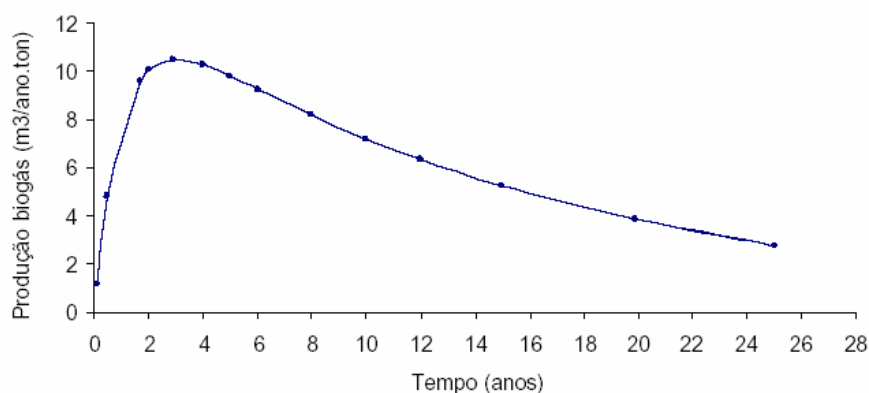


Figura 2.9 Previsão da geração de gases pelo modelo de primeira ordem (MACIEL, 2003).

Segundo Firno (2006), o modelo de Tchobanoglous *et. al* (2003) (Multi-fase) apresenta uma metodologia de avaliação da quantidade de biogás gerado em aterro em função da composição elementar do lixo utilizando relações estequiométricas de decomposição. O modelo assume que os resíduos rapidamente decompostos (duração de três meses a cinco anos) atingem seu pico de produção de biogás ao final do segundo ano após sua deposição, diminuindo a geração a partir deste instante até o 6º ano, quando não há geração. O primeiro ano é considerado uma fase de preparação onde a produção é praticamente nula. Tratando-se de resíduos lentamente degradáveis (até

cinquenta anos ou mais), o mesmo autor afirma que o pico de produção ocorre no sexto ano havendo o declínio até o final do 16º ano após o aterramento. Além disso, assume-se que cerca de 75% e 50% dos resíduos rapidamente degradáveis e lentamente degradáveis, respectivamente, estão disponíveis pois nem toda a massa de lixo está exposta à fatores que favorecem a decomposição microbiológica como umidade, temperatura e outros (ENSINAS, 2003).

A taxa total de produção de gás num aterro o qual foram depositados RSU por um período de 5 anos consecutivos é obtida graficamente somando os gases produzidos pelos RSU rapidamente e lentamente biodegradáveis depositadas a cada ano (FIRMO, 2006), como pode ser observado na Figura 2.11. Ensinas (2003), em estudos realizados no Aterro do Delta, obteve através de formulações teóricas a curva de geração de metano apresentada na Figura 2.12.

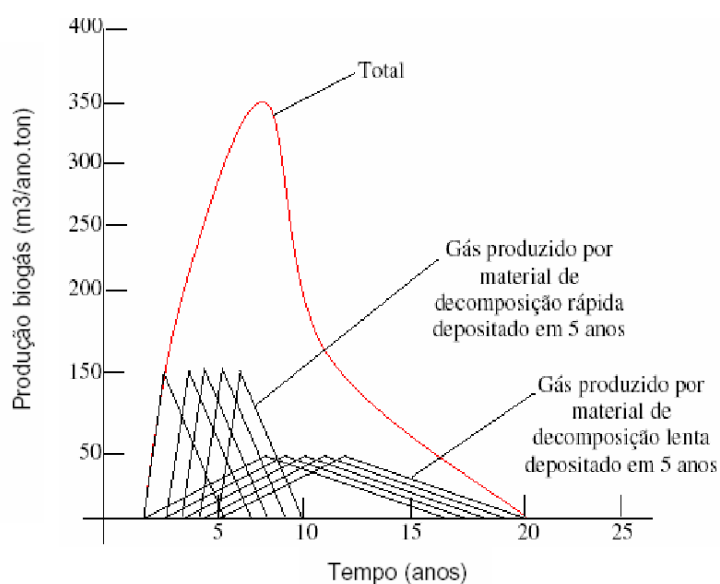


Figura 2.10. Produção de gás durante um período de cinco anos a partir de materiais orgânicos rapidamente e lentamente decompostos num aterro (Adaptado de TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993 *apud* FIRMO, 2006).

Em estudo realizado por de Coops *et al.* (1995) citados por Maciel (2003), a validade destes modelos (Modelo de Ordem Zero, Primeira Ordem e Multi-fase) foi verificada segundo dados coletados em 8 aterros sanitários holandeses e constatou-se que o modelo multi-fase é o que fornece menor diferença entre a previsão teórica e a medição *in situ* com 18% de erro médio, seguido pelo de primeira ordem com 22% e por fim o de ordem zero com variação de 44%.

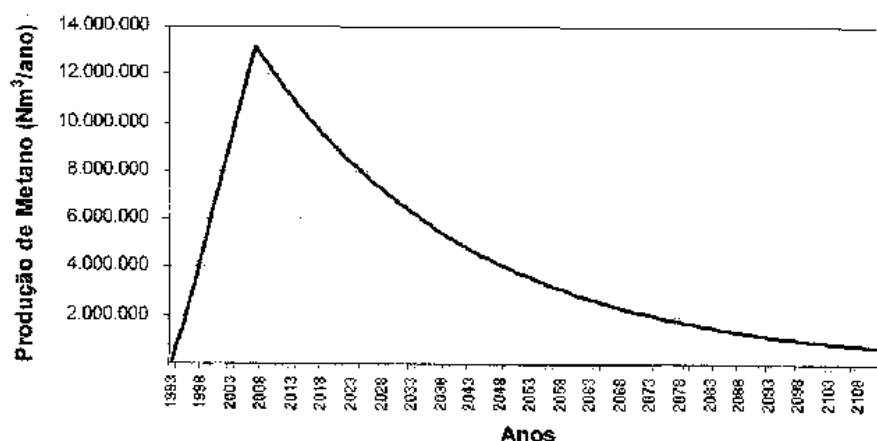


Figura 2.11 Curva de geração teórica de metano para o Aterro do Delta – Campinas/SP (ENSINAS, 2003).

2.3.2.1 Ensaio do Potencial Bioquímico de Metano (Ensaio BMP)

Conforme descrito no tópico 2.3.2, para determinação adequada do potencial de geração de gases de um aterro de resíduos sólidos também existem formulações experimentais, que consideram as medições reais dos gases gerados, utilizando-se lisímetros, digestores ou células experimentais (JUCÁ *et al.*, 2005b).

De acordo Alves *et al.* (1995), existem métodos normalmente referidos como testes de atividade metanogênica específica os quais são largamente utilizados na caracterização da biomassa em digestores anaeróbios. Realizam-se em reator fechado, em que se monitoriza ao longo do tempo uma variável indicadora da atividade. Na maior parte dos métodos desenvolvidos, o indicador de atividade que se utiliza é a produção de metano e não o consumo de substrato, variando fundamentalmente, de uns para os outros, a técnica utilizada para medição do metano produzido. Os primeiros métodos baseiam-se na medição do metano por deslocamento de líquido, ou por deslocamento de êmbolos de seringas de vidro cujas agulhas eram diretamente colocadas no frasco através da rolha de borracha (OWEN *et al.*, 1979).

Segundo Harries *et al.* (2001a), testes de laboratório para a quantificação do metano produzido tornaram-se conhecidos por Ensaio BMP (*Biochemical Methane Potential* ou Potencial Bioquímico de Metano) e têm sido utilizados em pesquisas laboratoriais e especialistas durante muitos anos. Todavia, o teste não se tornou tão amplamente utilizado como o equivalente teste aeróbio, o da Demanda Bioquímica de Oxigênio ou teste de DBO. É provável que a baixa adoção do ensaio BMP seja, entre outros fatores, devido a longa escala de tempo requerida pelo experimento.

O ensaio BMP se destina a avaliar a biodegradabilidade dos resíduos com base na produção total de CH₄ em condições ótimas de degradação. Desde a década de 70 se reporta a existência de trabalhos envolvendo a utilização do ensaio BMP. Estudos desenvolvidos por Owen *et al.* (1979) relatam a utilização do ensaio para medir a biodegradabilidade de processos de tratamento anaeróbio. Poucos anos depois, segundo Palmisano & Barlaz (1996), Shelton & Tiedje (1984) utilizaram o ensaio BMP para medir a biodegradabilidade anaeróbia de um orgânico químico solúvel. Desde então, o ensaio foi adaptado de várias maneiras para medir a biodegradabilidade de amostras sólidas.

Inicialmente, no ensaio BMP, pequenas amostras de resíduos eram colocadas em frascos contendo um meio de cultura líquido e um inóculo. Previamente, as amostras eram secas e trituradas até atingir aproximadamente 1mm. O potencial de metano para uma amostra era então medido após um período de incubação de 30 a 60 dias (PALMISANO & BARLAZ, 1996). De acordo com os autores, o procedimento deste ensaio foi modificado posteriormente por Bogner (1987); Owens & Chynoweth (1993) e Wang *et al.* (1994).

O primeiro autor trabalhou com amostras de 25g de resíduos escavados de aterros, suplementados com nutrientes, mas não com inóculo. Owens & Chynoweth (1993) utilizaram o teste para medir o potencial de metano de diferentes componentes dos resíduos sólidos urbanos, enquanto que Wang *et al.* (1994) usaram o ensaio para avaliar o potencial de metano de amostras de resíduos escavadas de aterros mas, neste caso, com adição de inóculo.

Literaturas mais recentes também relatam a utilização do ensaio BMP para avaliar o potencial de metano dos resíduos sólidos, através de metodologias relativamente similares, destacando-se: Harries *et al.* (2001a); Gunaseelan (2004); Barlaz *et al.* (2004); Hansen, *et al.* (2004); Gachet (2005); Bayard *et al.* (2005); Heerenklage & Stegmann (2005); Olivier *et al.* (2005); Neves *et al.* (2006); De Araújo Moraes J. (2006); Rapozo *et al.* (2006); Neves *et al.* (2008).

Em estudos realizados no Brasil, desenvolvidos por Vazoller e colaboradores (2001), os pesquisadores utilizaram o ensaio BMP baseados na metodologia descrita por Mounton (1985), com objetivo de avaliar o potencial de biodegradabilidade de dois aterros experimentais construídos em similaridade com aterros convencionais.

De maneira geral, o procedimento do ensaio BMP atualmente consiste na utilização de uma pequena fração de resíduo sólido, previamente cortada e triturada,

colocada em um frasco de vidro e inoculada com uma fração de lodo de digestor anaeróbio de estações de tratamento de esgoto (ETE). Dessa forma, será promovida a aceleração da degradação do lixo e mantida a viabilidade das metanogênicas. O ambiente é mantido em condição anaeróbia estrita através da recirculação de uma mistura gasosa (CO_2/N_2) no recipiente. Em seguida, o frasco é incubado por um determinado período sob condições de temperatura pré-estabelecidas. O volume de gás produzido é monitorado por sensores de pressão instalados na tampa do recipiente e a concentração de CH_4 e CO_2 é obtida por cromatografia gasosa.

O resultado do ensaio é reportado em termos de mililitros de CH_4 ou biogás por grama de resíduo (Nm^3/g ou Nm^3/ton) nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP - 0°C , 1013 hPa). A Figura 2.13 ilustra, de maneira geral, o aparato experimental do ensaio BMP (De Araújo Morais J., 2006). Neste caso, o ensaio foi utilizado para avaliação do potencial de geração de biogás de resíduos sólidos submetidos a diferentes tipos de pré-tratamento.

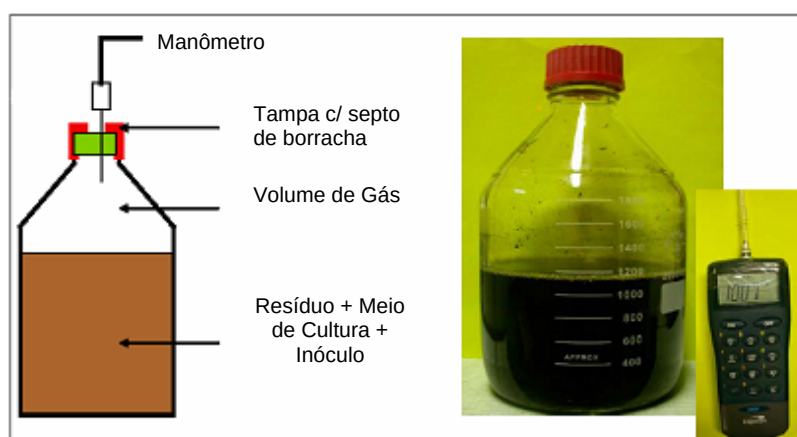


Figura 2.12 Esquema do Ensaio BMP utilizado por De Araújo Morais J. (2006).

É importante ressaltar que não há padronização oficial para a metodologia do ensaio BMP. No entanto, as alterações relativas ao procedimento do ensaio referem-se, em geral, à amostra (tipo, quantidade e pré-tratamento), ao inóculo, à técnica de medição dos gases e ao período de incubação. Em linhas gerais, mais de 90% da produção do gás ocorre entre 30 e 60 dias (PALMISANO & BARLAZ, 1996).

Diversos trabalhos que retratam sobre a utilização do ensaio BMP como ferramenta para a avaliação do potencial de geração de biogás de resíduos sólidos o faz através da relação com a quantidade de resíduos totais, massa seca ou sólidos voláteis, conforme sumarizado na Tabela 2.14. Tal fato mostra, mais uma vez, que não há

padronização para a apresentação dos dados obtidos no ensaio BMP, sendo então necessária a apresentação dos dados em várias unidades tais como NmL/g, NmL/gMS ou NmL/gSV. Além disso, também há autores que afirmam que análises químicas tais como a fração degradável (teor de celulose, hemicelulose, amido, proteínas e lipídeos) dão uma melhor correlação com os resultados obtidos no ensaio BMP do que sólidos voláteis e DQO, e que maior parte do gás é gerada a partir da fração de holocelulose (celulose e hemicelulose) (CHEN *et al.*, 1995).

Tabela 2.14 Valores de alguns potenciais de geração obtidos através do ensaio BMP relatados na literatura.

Referência	Material	Potencial de Geração
Owens & Chynoweth, 1993	Resíduos sólidos	186 a 222 L/Kg MO _{tot}
	Jardim	123 a 209 L/Kg MO _{tot}
	Papel	84 a 278 L/Kg MO _{tot}
Wang <i>et al.</i> , 1994	Resíduos sólidos escavados – 3 a 9 m (aprox. 7 anos)	13,6NmL CH ₄ /g
	Resíduos sólidos escavados –6 a 12 m	2,78 NmL CH ₄ /g
Delvanai & Kasturi Bai, 1995	Frutas	1,69 a 9,22NL Biogás/Kg ST
Cho, 1995	Resíduos orgânicos	277 a 482 NmL CH ₄ /g SV
Wang <i>et al.</i> , 1997	Resíduos alimentares	300,7NmL CH ₄ /gMS
Heiss-Ziegler & Lechner, 1999	Resíduos sólidos	177 NL/Kg MS
	Resíduos sólidos após decomposição	4,8 NL/Kg MS
Harries <i>et al.</i> 2001a	Jornal	93 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
	Papel	127 a 167 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
	Papelao	183 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
	Madeira	66 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
	Putrescíveis+jardim	16 a 94 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
Harries <i>et al.</i> 2001b	Resíduos sólidos	85 a 125 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
Vazoller <i>et al.</i> , 2001	Resíduos sólidos	91NL/Kg SV
Hansen <i>et al.</i> , 2004	Resíduos orgânicos	495 NmL CH ₄ /gSV
Gunaseelan, 2004	Frutas e vegetais	0,18 a 0,732 NL CH ₄ /g SV
Neves <i>et al.</i> , 2006	Resíduos de alimentares	363 NL CH ₄ /Kg SV
Bayard <i>et al.</i> , 2005	Resíduos orgânicos	194 a 229 NL CH ₄ /kgMS
Olivier <i>et al.</i> , 2005	Resíduos sólidos	181 NL CH ₄ /kgMO _{tot}
Vigneron <i>et al.</i> , 2005	Resíduos sólidos	126 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
	Resíduos orgânicos	178 Nm ³ CH ₄ /Ton MS
De Araújo Morais J.,2006	Resíduos sólidos	312,6 a 410,5 NL Biogás/KgSV.
Raposo <i>et al.</i> , 2006	Leguminosas	211 NmL CH ₄ /g SV
Neves <i>et al.</i> , 2008	Resíduos de restaurantes	0,40 a 0,49 Nm ³ CH ₄ /Kg SV

Ao estudar os efeitos do conteúdo de água, nutrientes, concentração de inóculo e tamanho da amostra sobre o desempenho de ensaios BMP, em resíduos provenientes de diversas células experimentais na Suécia, Chen e colaboradores (1995) apresentaram padrões de curvas de geração de biogás que podem ser obtidas ao final do ensaio (Figura 2.14), onde os dados de geração são expressos em NmL/gSV. Segundo os autores, se as curvas A ou D forem obtidas, 50% do rendimento total de biogás foi produzido em cerca de 10 dias. A curva B, por sua vez, indica que 50% do rendimento total foi produzido em cerca de 10 a 12 dias, após o encerramento do período de inibição. Por fim, se a curva obtida for a C, 50% do rendimento total do biogás foi produzido cerca de 15 dias após o final do período de inibição.

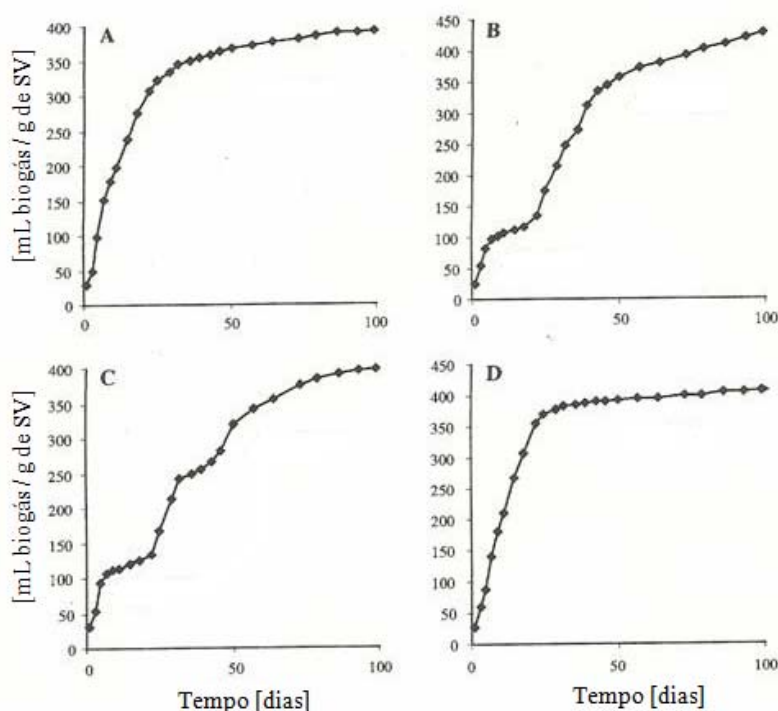


Figura 2.13 Resultados padrões para gráficos de geração de biogás obtidos através de ensaios BMP (CHEN *et al.*, 1995).

Segundo Alves *et al.* (1995), é urgente definir e padronizar métodos de medição de atividades metanogênicas para que os valores possam ser comparados com mais exatidão. Este tipo de ensaio parece ser atrativo não só pelo tipo de resultados que permite a nível da medição de atividades e toxicidades do processo de biodegradação, mas também porque do ponto de vista prático, apesar de requerer período de monitoramento consideravelmente longo, o ensaio apresenta relativa facilidade de execução.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostragem

A metodologia da pesquisa foi baseada na realização do Ensaio BMP e na construção e monitoramento de Biorreatores de bancada. Para tanto, foram utilizados resíduos sólidos provenientes do Aterro da Muribeca-PE, sendo selecionada apenas matéria orgânica para posterior utilização nos referidos experimentos. As coletas de resíduos orgânicos foram realizadas nos meses de Julho, Novembro e Dezembro de 2007, originados da caracterização gravimétrica dos resíduos a serem depositados na célula experimental da UFPE/CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) construída no Aterro da Muribeca-PE.

Foram realizados ensaios do tipo BMP e ensaio em biorreatores de bancada. Todas as amostras de resíduos sólidos utilizadas em cada ensaio foram de aproximadamente 10 Kg de matéria orgânica, pré-selecionadas no Aterro. Ao chegarem no laboratório, foram submetidas a quarteamento e posterior caracterização física, para a classificação em categorias previamente estabelecidas: (1) frutas, verduras, cascas, espigas de milho, (2) comida, (3) folhas, caules, palha de milho, grama, raízes, e (4) outros. O resultado da caracterização e será discutido mais adiante e está apresentado na Tabela 4.1, no Capítulo 4.

3.2 Programa de Ensaios

Diversas técnicas baseadas no ensaio BMP são descritas na literatura e o presente trabalho, por sua vez, está baseado na metodologia descrita por Hansen *et al.* (2004), já que além de apresentar confiabilidade nos resultados, também foi considerada de fácil aplicabilidade e baixo custo.

Foram realizados três ensaios tipo BMP, todos em duplicata, cada um com duração de 60 dias de monitoramento. A realização da duplicata foi condicionada à confiabilidade dos resultados obtidos em experimentos preliminares realizados no laboratório. Paralelo a isso, foi realizado um estudo com biorreatores de bancada para

avaliar a influência da umidade sobre a biodegradação dos resíduos. Os ensaios foram denominados da seguinte forma:

- (1) Ensaio BMP com Zn e Mn;
- (2) Ensaio BMP com Fe;
- (3) Ensaio BMP com Lixos de Diferentes Idades;
- (4) Ensaio com Biorreatores de Bancada.

Os dois primeiros ensaios objetivaram o estudo da influência dos metais pesados, sendo selecionados os metais: Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe), devido às suas concentrações expressivas encontradas nos lixiviados de diversos aterros, conforme relatado no Tópico 2.2.2.4, e na Tabela 2.12, no Capítulo 2. O terceiro ensaio, por sua vez, foi realizado com lixos de diferentes idades (e teores de sólidos voláteis), com a finalidade de entender o comportamento da geração de biogás com o tempo, ou seja, conforme o período de estabilização da massa de resíduos. O quarto ensaio, realizado com os biorreatores de bancada, será apresentado com detalhes no tópico 3.3. As etapas comuns aos ensaios BMP consistiram em:

- (a) Preparação da amostra;
- (b) Seleção do inóculo;
- (c) Circulação da mistura gasosa (N_2/CO_2), incubação e monitoramento dos frascos.

a) Preparação da amostra

A amostra inicial dos resíduos orgânicos utilizados em cada ensaio BMP (10 Kg), após quarteamento, resultou em 2,5 kg que foram, posteriormente, caracterizados (conforme descrito no tópico 3.1) misturados, cortados e triturados em processador industrial (Cutter – Siemens CR-4L), com intuito de promover a redução do tamanho dos resíduos e a homogeneização da amostra. Uma sub-amostra foi retirada para a determinação de umidade e sólidos voláteis da amostra original. Em seguida, os resíduos processados foram transferidos para um liquidificador e água destilada foi adicionada até atingir um conteúdo final de 20% de resíduo (Figuras 3.1 e 3.2).

Na preparação das amostras para o ensaio com metais pesados, foram adicionadas aos resíduos soluções de $Zn(NO_3)_2$, $Mn(NO_3)_2$ e $Fe(NO_3)_3$, ao invés da água destilada. A metodologia detalhada para o ensaio com metais pesados está descrita no tópico 3.2.1.

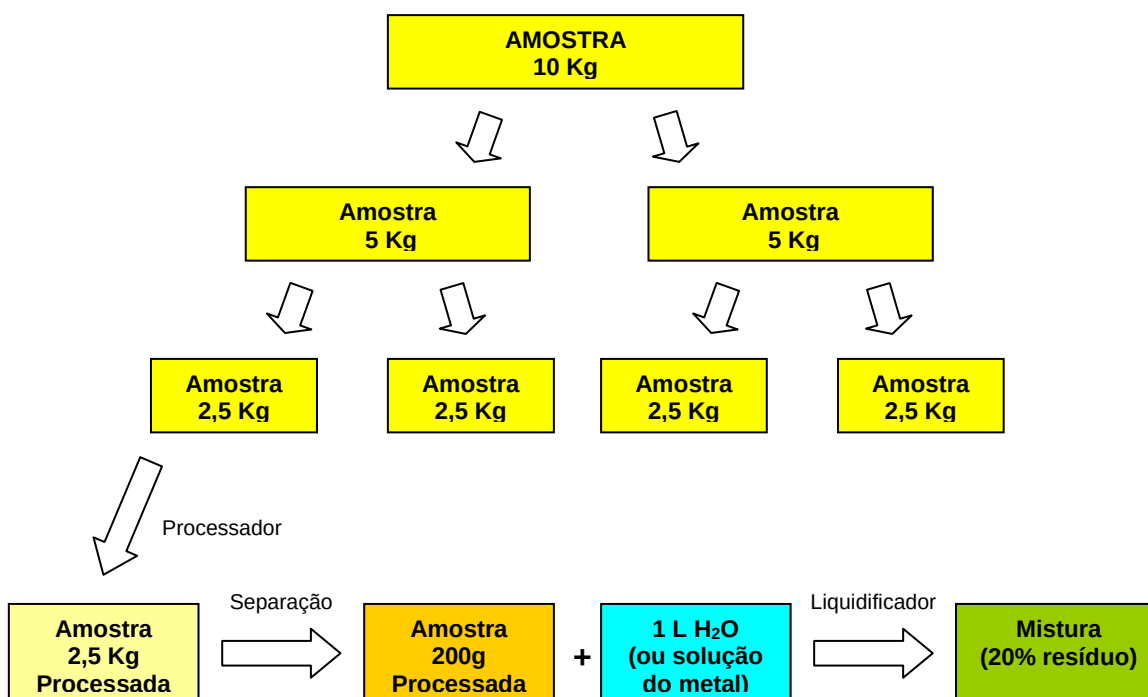


Figura 3.1. Esquema geral das etapas do quarteamento e processamento das amostras de resíduos utilizados em todos os ensaios



Figura 3.2. Primeiras etapas da preparação do Ensaio BMP: (a) Quarteamento e caracterização dos resíduos (matéria orgânica); (b) Redução do tamanho (corte e trituração em processador industrial); (c) Adição de água e mistura em liquidificador.

Para a realização dos ensaios, foram utilizados frascos de vidro de 250 mL com tampa rosqueada, acopladas com válvulas de saída e entrada de gás e um manômetro de 1 kgf/cm^2 , com escala de $0,02 \text{ kgf/cm}^2$, havendo assim controle da pressão interna de cada frasco (Figura 3.3.b). Os frascos foram envolvidos com papel alumínio para evitar a influência da luz durante o processo de biodegradação.

b) Seleção do inóculo

O inóculo utilizado nos ensaios foi proveniente de um digestor anaeróbio da Estação de Tratamento de Esgoto (Estação de Tratamento Cabanga) pertencente ao Sistema de Esgotamento Sanitário Cabanga da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), localizada no município de Recife-PE. As amostras foram coletadas nos meses de Julho, Novembro e Dezembro de 2007, no mesmo período das amostras de resíduos orgânicos do aterro, para serem utilizadas, respectivamente, no Ensaio BMP com Zn e Mn, Ensaio BMP com Fe e Ensaio BMP com Lixos de Diferentes Idades. As amostras de lodo utilizadas nos ensaios supracitados foram classificadas conforme descrito abaixo:

- (a) Lodo.Jul 07;
- (b) Lodo.Nov 07;
- (c) Lodo.Dez 07.

Foram realizadas análises de sólidos voláteis em todas as amostras de lodo, para conhecimento da qualidade do inóculo a ser utilizado nos referidos experimentos. Os resultados das análises serão apresentados na Tabela 4.3, no Capítulo 4.

c) Circulação de N_2/CO_2 , incubação e monitoramento dos frascos

Em cada frasco, foram colocados 12,5 ml da mistura “Lixo+Água” e esta foi inoculada com 50 ml de lodo. Em seguida, os frascos foram fechados e submetidos à circulação de uma mistura gasosa contendo 80% de N_2 e 20% de CO_2 , com o objetivo de proporcionar a eliminação da atmosfera aeróbia estabelecida nos frascos (Figura 3.3.a). Após cerca de dois minutos de entrada e saída da mistura gasosa, as válvulas foram fechadas e o manômetro acoplado.

Em todos os ensaios foram também utilizados frascos apenas com lodo (50 mL), como controle dos experimentos. Um dos ensaios objetivou a utilização de apenas 50% do lodo (25mL) para comparação da potencialidade de geração de biogás caso fosse utilizada uma quantidade menor de inóculo.

Todos os frascos foram então incubados a 37°C durante 60 dias e, neste período, as pressões internas e ambiente, bem como as temperaturas, foram monitoradas

diariamente (Figura 3.3.c). De acordo com a pressão atingida no interior dos frascos, foi realizada a leitura das concentrações dos gases CO_2 (%), CH_4 (%), H_2S (ppm) e O_2 (%), através do equipamento Drager, modelo X-am 7000 (Figura 3.9.b).

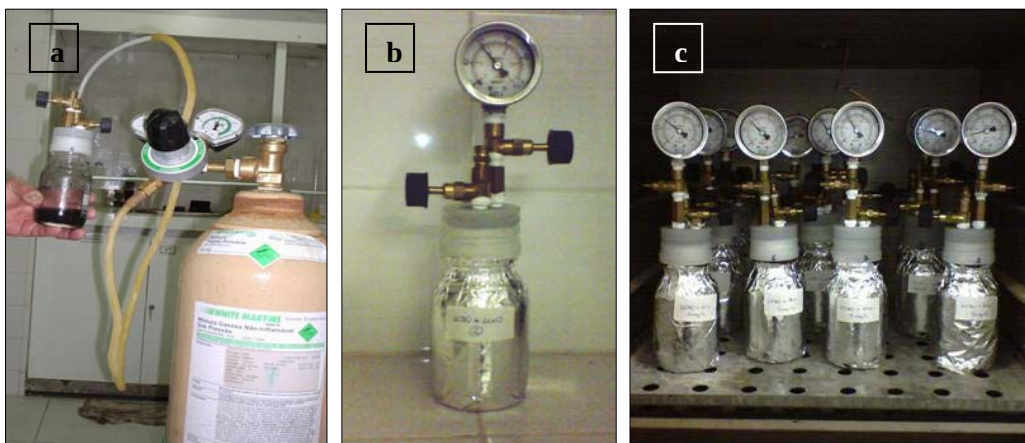


Figura 3.3. Etapas seguintes do Ensaio BMP: (a) Recirculação da mistura N_2/CO_2 nos frascos; (b) Fechamento do frasco e colocação do manômetro; (c) Frascos incubados na estufa (37°C).

No entanto, os valores das concentrações dos gases (CH_4 , CO_2 , H_2S e O_2) obtidos nos frascos dos ensaios BMP não foram considerados significativos. Isto ocorreu, provavelmente, por problemas na metodologia do ensaio, como a ausência de adequação da vazão de biogás gerada nos experimentos à sistemática de medir CH_4 , interferindo na correta leitura da concentração de gases por parte do equipamento.

3.2.1. Ensaio BMP com Metais Pesados (Zn, Mn e Fe)

O primeiro ensaio com metais pesados (Ensaio BMP com Zn e Mn) foi realizado com a amostra de resíduos orgânicos de Julho de 2007. Foram testadas diferentes concentrações dos metais Zinco (Zn) e Manganês (Mn), selecionando-se duas concentrações para cada metal (2 e 7 mg/L). No segundo ensaio, denominado Ensaio BMP com Fe, a amostra utilizada foi referente à Novembro de 2007, testando o metal Ferro (Fe), em três diferentes concentrações (2, 7 e 10 mg/L). A seleção das concentrações foi baseada na média dos valores encontrados nos lixiviados de diversos aterros, conforme a literatura e especificado na Tabela 2.11, Capítulo 2. A classificação das amostras do Ensaio BMP com Zn e Mn, bem como o esquema geral dos procedimentos experimentais utilizados neste ensaio estão apresentados na Tabela 3.1.

As amostras referentes ao Ensaio BMP com Fe, por sua vez, estão detalhadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Zn e Mn.

Amostra	Volume total do frasco (mL)	Volume de solução (lixo+água) (mL)	Volume de lodo (inóculo) (mL)	Headspace (mL) *	Tempo de circulação de N ₂ /CO ₂ (min)	Temp. de incubação (°C)
(Lixo + Lodo) Jul.07	250	12,5	50	187,5	2	37
(Lixo + Lodo 25mL) Jul.07	250	12,5	25	212,5	2	37
Lodo Jul.07	250	----	50	200	2	37
Lixo Jul.07	250	12,5	----	237,5	2	37
Zn.3mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Zn.7mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Mn.3mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Mn.7mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.

Tabela 3.2 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Fe.

Amostra	Volume total do frasco (mL)	Volume de solução (Lixo+Água) (mL)	Volume de lodo (inóculo) (mL)	Headspace (mL) *	Tempo de circulação de N ₂ /CO ₂ (min)	Temp. de incubação (°C)
(Lixo + Lodo)Nov.07	250	12,5	50	187,5	2	37
Lodo Nov.07	250	----	50	200	2	37
Fe.2mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Fe.7mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Fe.20mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.

3.2.2 Ensaio BMP com Lixo de Diferentes Idades

Foram utilizados resíduos sólidos orgânicos com três diferentes teores de sólidos voláteis: 46,9%, 40,9% e 9,2%. A primeira amostra correspondeu aos resíduos orgânicos recém-chegados ao aterro (lixo novo) referente à Dezembro de 2007 (Figura 3.4.a) e provenientes da caracterização gravimétrica dos resíduos a serem depositados na célula da CHESF, conforme descrito no tópico 3.1. A segunda, por sua vez, foi proveniente de um biorreator anaeróbio, constituído por um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro e 120 cm de altura, além de caps nas extremidades inferior e superior (Figura 3.5). Uma camada de brita foi disposta no cap inferior para impedir a obstrução do coletor de chorume, caso fosse necessária a coleta do material.



Figura 3.4 Visão geral dos lixos de diferentes idades utilizados no Ensaio BMP: (a) Lixo novo; (b) Lixo de 1 ano e (c) Lixo de 7 anos.

O biorreator possuía apenas resíduos orgânicos do Aterro da Muribeca colocados no interior do reator desde dezembro de 2006. Durante este período, o reator esteve hermeticamente fechado e contendo, portanto, resíduos em processo de degradação avançada por cerca de um ano (Figura 3.4.b).

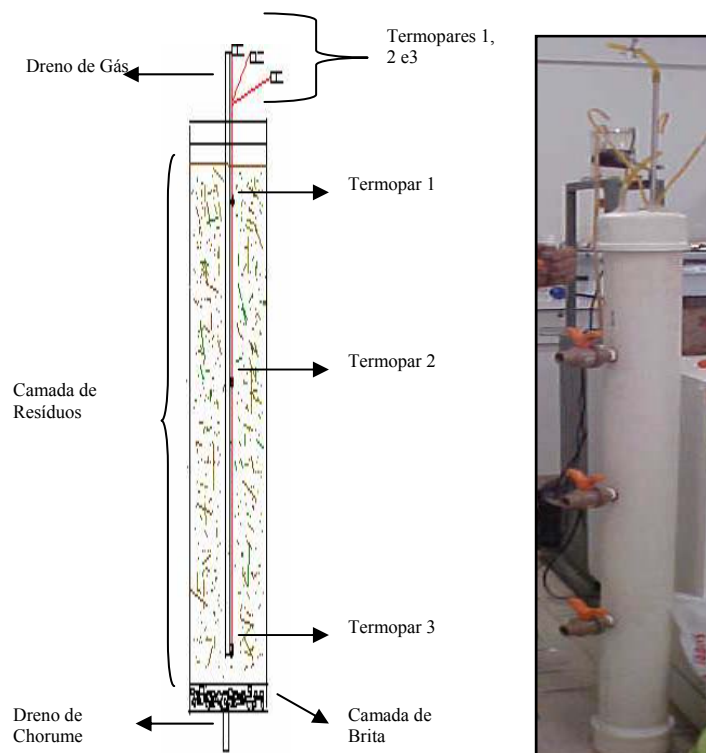


Figura 3.5 Esquema geral do biorreator anaeróbico contendo resíduos orgânicos de 1 ano.

A terceira amostra foi proveniente de uma célula de lixo do Aterro da Muribeca-PE, desativada e sem receber resíduos desde o ano 2000. A coleta foi realizada com uma retroescavadora, numa profundidade superior a três metros, evitando assim a retirada de amostra com influência de variáveis ambientais (Figura 3.6). Sendo assim, a amostra foi considerada de um lixo em processo de decomposição avançada ou já estabilizado (amostra “Lixo.7 anos”) (Figura 3.4.c).



Figura 3.6. Coleta da amostra de resíduos com 7 anos: (a), (b) e (c) Escavação da célula de lixo desativada; (d), (e) e (f) Retirada e separação da amostra.

A classificação das amostras do Ensaio com Lixos de Diferentes Idades, bem como o esquema geral dos procedimentos experimentais utilizados no referido ensaio estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio com Lixos de Diferentes Idades e Mn.

Amostra	Volume total do frasco (mL)	Volume de solução (Lixo+Água) (mL)	Volume de lodo (inóculo) (mL)	Headspace (mL) *	Tempo de circulação de N ₂ /CO ₂ (min)	Temp. de incubação (°C)
(Lixo + Lodo) Dez.07	250	12,5	50	187,5	2	37
Lodo.Dez 07	250	----	50	200	2	37
Lixo.1 ano (Lixo reator + Lodo)	250	12,5	50	187,5	2	37
Lixo.7 anos (Lixo de 7 anos + Lodo)	250	12,5	50	187,5	2	37

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.

3.3 Biorreatores de Bancada

Quatro biorreatores foram confeccionados com tubos de PVC com dimensões de 20,5 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno, com cap nas extremidades superior e inferior. No cap superior, foi acoplado um manômetro de $1,0 \text{ kgf/cm}^2$, com escala de $0,02 \text{ kgf/cm}^2$, além de válvulas para saída do biogás, sendo utilizada durante leitura de suas concentrações (Figura 3.7). Para garantir a segurança do fechamento dos biorreatores em virtude de possíveis pressões elevadas, uma prensa de metal parafusada foi colocada após o fechamento dos biorreatores.

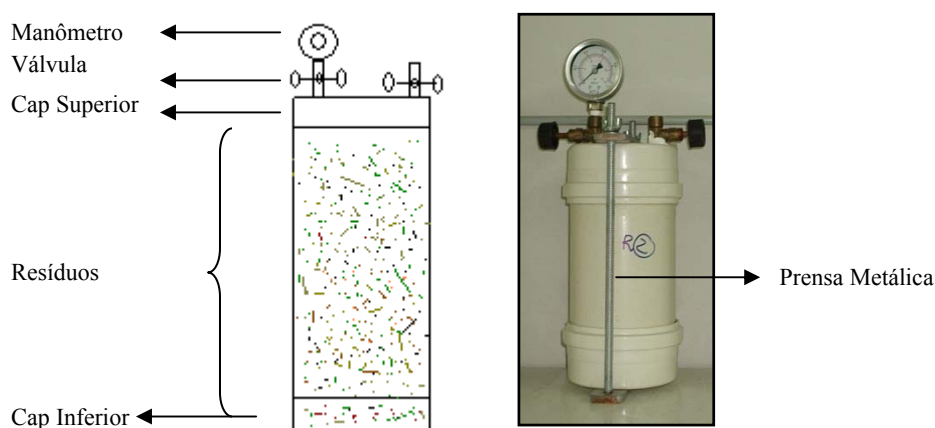


Figura 3.7. Esquema geral dos biorreatores utilizados no experimento.

A quantidade de resíduos orgânicos utilizados para o preenchimento de cada biorreator foi de 400g (peso seco). Os resíduos foram previamente caracterizados (conforme descrito no tópico 3.1), cortados e triturados em processador industrial, proporcionando maior homogeneização da amostra e facilitando a degradação da massa de resíduos por parte dos microrganismos. A amostra de resíduos orgânicos corresponde à mesma utilizada no ensaio BMP referente à Julho de 2007. No entanto, no caso dos biorreatores, não houve adição de metais pesados, apenas adição de água, quando necessário, para estabelecer condições de umidade iniciais diferenciadas para cada reator: 20%, 40%, 60% e 80% não havendo controle da umidade dos reatores no decorrer o experimento.

Em seguida, a amostra de cada biorreator foi submetida à adição de 80 mL de lodo anaeróbico (Figura 3.8.a), o que corresponde a 15% da massa de resíduos, considerada ideal para o melhor desempenho de reatores (LOPES *et al*, 2003). A

amostra de lodo também foi a mesma utilizada no ensaio BMP referente à Julho de 2007, cujo resultado da análise de sólidos voláteis será apresentado na Tabela 4.3, no Capítulo 4.

Posteriormente, os resíduos foram compactados e os biorreatores submetidos à circulação de uma mistura gasosa contendo 80% de N_2 e 20% de CO_2 , da mesma maneira realizada no ensaio BMP (Figura 3.8.b). Após cerca de dois minutos de entrada e saída da mistura gasosa, as válvulas foram fechadas, o manômetro acoplado e, por fim, colocada a prensa de metal (Figura 3.8.c).

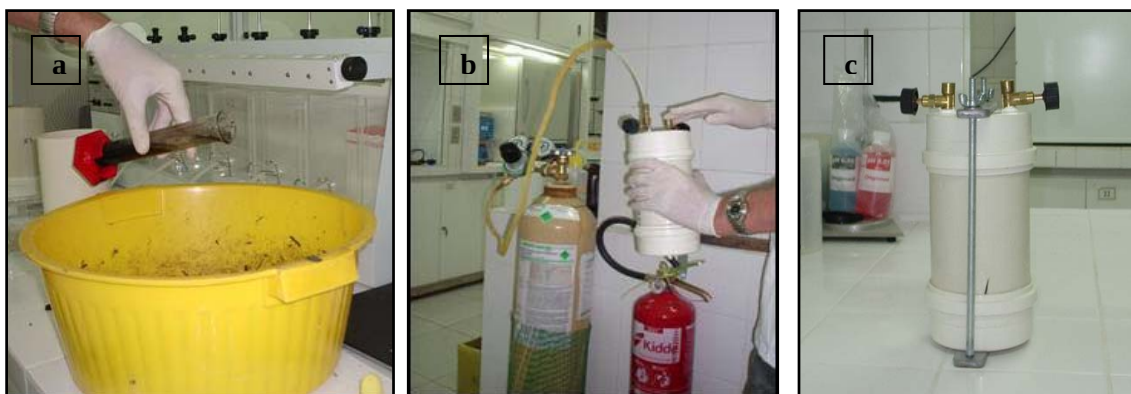


Figura 3.8. Preparação do ensaio com biorreatores: (a) Adição de inóculo na amostra; (b) Circulação da mistura gasosa N_2/CO_2 ; (c) Colocação da prensa de metal.

Nos biorreatores, foram monitoradas diariamente as pressões internas, através das leituras dos manômetros (Figuras 3.9.a), bem como temperatura e pressão ambientes. A leitura das concentrações de gases CO_2 (%), CH_4 (%), H_2S (ppm) e O_2 (%), foram realizadas através do equipamento Drager, modelo X-am 7000 (Figura 3.8.b).



Figura 3.9. (a) Biorreatores utilizados no ensaio com diferentes umidades; (b) Leitura da concentração dos gases dos biorreatores através do equipamento Drager.

No entanto, os valores das concentrações dos gases (CH_4 , CO_2 , H_2S e O_2) obtidos nos biorreatores, assim como nos ensaios BMP, não foram considerados significativos, conforme já discutido anteriormente (tópico 3.2). A Tabela 3.4 sumariza os procedimentos experimentais utilizadas no Ensaio com Biorreatores de Bancada.

Tabela 3.4 Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio com Biorreatores de Bancada

Amostra	Volume total do reator (L)	Resíduo sólido peso seco(g)	Vol. de lodo (inóculo) (mL)	Headspace* (mL)	Tempo de circulação de N_2/CO_2 (min)	Temp. de incubação ($^{\circ}\text{C}$)
Reator 1 (20% umidade)	1,5	400	80	739	5	25
Reator 2 (40% umidade)	1,5	400	80	739	5	25
Reator 3 (60% umidade)	1,5	400	80	591,2	5	25
Reator 4 (80% umidade)	1,5	400	80	295,6	5	25

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.

3.4 Coleta e análise dos dados

Os dados de temperatura ambiente foram coletados através da leitura de um termômetro colocado no laboratório. Os dados de pressão atmosférica foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br), através da sequência: (1) Observações; (2) Estações automáticas; (3) “Recife”; (4) Dados; (5) Inserir as datas, e (6) Procurada a hora mais próxima do ensaio e calculada a média entre o valor mínimo e máximo em hPa.

Vale salientar que o INMET informa a hora em UTC, que é a hora de Brasília +3, sendo necessário portanto fazer o somatório (hora do ensaio + 3) para ter a pressão atmosférica aproximada, correspondente a hora em que foi feita a leitura da pressão dos frascos.

Os cálculos do volume de biogás gerado nos frascos do ensaio BMP e nos biorreatores foram obtidos através das leituras das pressões e temperaturas diárias de cada frasco e de cada biorreator, bem como das pressões e temperaturas atmosféricas. Para tanto, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Office Excel 2003,

detalhadas nos Apêndices I e II. As Equações 3.1 a 3.4 mostram as fórmulas utilizadas para os cálculos do potencial de geração de biogás (HARRIES *et al.*, 2001a; ABE Department, 2007).

Equação 3.1: Volume de Biogás gerado entre T e T+1

$$\text{Gerado entre } T + (T+1) = \left[\frac{PF(\text{mbar}) \times VUF (L) \times 22,41}{[83,14 \times TF (K)]} \right] \times 1000$$

Onde:

T: Tempo (dias)

PF (mbar): Pressão do Frasco em milibar

VUF (L): Volume Útil do Frasco em litros

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin

Equação 3.2: Volume de Biogás Acumulado (mL)

$$\text{Volume Acumulado (mL)} = [\text{Gerado entre } T \text{ e } (T+1)] + \text{VGA (mL)}$$

Onde:

T: Tempo (dias)

VGA(mL): Volume de biogás acumulado do dia anterior em mililitros

Equação 3.3: Volume de Biogás Acumulado CNTP (NmL)

$$[\text{Volume Acumulado (mL)}] \times [273/TF (K)] \times [(Patm. (\text{mbar}) - 42)/760]$$

Onde:

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin

Patm. (mbar): Pressão Atmosférica em milibar

Equação 3.4: Taxa de Geração de Biogás (NmL/dia)

$$\text{Taxa de Geração de Biogás} = \frac{\text{Volume Acumulado CNTP (NmL)}}{\text{Nº de dias corridos}}$$

Sendo assim, observa-se que o volume de biogás acumulado (mL) foi então calculado e corrigido para as Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP, sendo então obtido o volume de biogás em NmL. Este último, associado aos dias corridos, fornece a taxa de geração de média de biogás (NmL/dia).

3.5 Análises de substâncias orgânicas

Análises de substâncias orgânicas (lipídeos, lignina, celulose e hemicelulose) foram realizadas nos resíduos sólidos orgânicos utilizados no Ensaio BMP e para o preenchimento dos biorreatores. As amostras foram coletadas no início do experimento, e as análises foram realizadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais, no Departamento de Antibióticos da Universidade Federal de Pernambuco. O protocolo experimental referente às análises químicas está descrito no Anexo I.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Resíduos

4.1.2 Caracterização Física

Os resíduos orgânicos utilizados nos ensaios BMP e nos biorreatores foram previamente submetidos à caracterização física, e classificados em diferentes categorias, conforme especificado no tópico 3.1, no Capítulo 3. A Tabela 4.1 apresenta os dados da caracterização realizada nas amostras de resíduos utilizadas nos experimentos, referentes aos meses de Julho, Novembro e Dezembro de 2007.

Tabela 4.1 Caracterização física dos resíduos orgânicos utilizados no ensaio BMP e nos Biorreatores.

Amostra de resíduos orgânicos	Composição gravimétrica			
	Frutas, verduras, cascas (%)	Folhas, caules, palha, grama, raízes (%)	Restos de comida (%)	Outros*(%)
Lixo.Jul.07	46	21	19	14
Lixo.Nov.07	35	19	8	38
Lixo.Dez.07	37	22	8	33

* Não foi possível distinguir o tipo de material para a caracterização

Alguns dos trabalhos que relatam sobre a caracterização dos resíduos o fazem relacionando com todos os componentes dos resíduos sólidos, não sendo mostradas caracterizações específicas apenas para os resíduos orgânicos, como foi realizado neste trabalho, o que dificulta a comparação dos componentes encontrados nesta pesquisa.

É importante salientar que ainda não há normatização acerca da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos, ou seja, não há um sistema de categorias pré-determinadas por normas que estabeleçam como devem estar divididos os elementos de uma caracterização de resíduos sólidos. No entanto, há trabalhos que relatam sobre sistemas de classificação de resíduos, sendo utilizados apenas como guias para a caracterização. A Tabela 4.2 ilustra referências citadas no “Waste Composition Analysis – Guidance for Local Authorities, 2004”. A ausência de normatização acaba por permitir diferentes classificações por parte dos pesquisadores.

Tabela 4.2 Sistemas de classificação de resíduos orgânicos citados por “Waste composition analyses – Guidance for local authorities”

Referência	Tipo de resíduo	Categorias
Standardised Classification System – SWAT	Resíduos orgânicos	resíduos biodegradáveis de cozinha e refeitórios; resíduos biodegradáveis de jardins e parques e outros resíduos biodegradáveis.
National Household Waste Analysis Programme (NHWAP)	Resíduos putrescíveis	Resíduos de jardim e outros
Welsh Assembly Categories	Resíduos orgânicos	Resíduos de jardim; Resíduos de cozinha e restos de comida; outros orgânicos.
REMECOM system	Resíduos putrescíveis	Resíduos alimentares e resíduos de jardim
Scottish Assembly National Household Waste Survey Categories	Resíduos alimentares	Frutas, vegetais e cascas
		Restos de comida
	Resíduos de jardim	Grama, capinação, flores, caules
	Outros putrescíveis	Excremento de animais, animais mortos
European Waste Classification System	Resíduos orgânicos	Resíduos alimentares e resíduos de jardim

Além da caracterização física, também foram realizados ensaios de umidade e sólidos voláteis dos resíduos orgânicos do ensaio BMP e dos biorreatores, bem como análises de sólidos voláteis nas amostras dos lodos utilizados nos experimentos (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 Valores de Umidade e Sólidos Voláteis das amostras de resíduos no ensaio BMP e nos Biorreatores.

Amostra	Parâmetros analisados	
	Umidade (%)	Sólidos Totais Voláteis (%)
Lixo Jul.07	40,0	49,2
Lixo Nov.07	43,5	56,9
Lixo Dez.07	44,3	46,9
Lixo.1 ano	45,0	40,9
Lixo.7 anos	21,0	9,2
Lodo Jul.07	----	83,2
Lodo.Nov07	----	44,7
Lodo.Dez07	----	62,7

Nos resultados apresentados por Olivier e colaboradores (2005), em que resíduos sólidos recém-chegados ao aterro foram utilizados no preenchimento de biorreatores, as análises apresentaram valor total de matéria orgânica de 68,82%. De maneira geral, a faixa média de sólidos voláteis para resíduos sólidos pode variar de valores próximos a 45% e até mesmo atingir 90%, dependendo do tipo de amostra analisada (PALMISANO & BARLAZ, 1996; WANG *et al.*, 1997; GUNASEELAN, 2007).

Dessa forma, baseado nos resultados apresentados na Tabela 4.3, pode-se sugerir que as amostras de lixo referentes aos meses de Julho, Novembro e Dezembro de 2007 apresentaram teor de sólidos voláteis ideal para a ocorrência do processo de degradação dos resíduos (entre 47 e 57%). Em relação à amostra Lixo.7 anos, observa-se que se enquadra na faixa de resíduo com processo de biodegradação já estabilizado, dado o baixo teor de sólidos voláteis dessa amostra (9,2%). Kelly (2002) afirma que resíduos com teor de sólidos voláteis abaixo de 20% já podem ser considerados estabilizados. Conforme Jordão & Pessoa (1995) a verificação do percentual de sólidos voláteis em amostras de lodos e resíduos é importante nos processos de estabilização biológica (digestão), de incineração, de aplicação no solo, de produção de fertilizantes e como indicador para potenciais problemas de odor no caso de armazenagem e manuseio.

4.1.2 Caracterização Química

Os resultados da caracterização química dos resíduos utilizados nos ensaios BMP e nos biorreatores estão descritos na Tabela 4.4. Ao analisar os dados da referida Tabela, observa-se que as amostras de lixo novo (Lixo.Jul.07 e Lixo.Nov.07) apresentam valores da relação (Celulose+Hemicelulose)/Lignina superiores ao obtidos pelas amostras de lixo mais antigas (Lixo.1 ano e Lixo.7 anos).

Tabela 4.4 Caracterização química dos resíduos utilizados no ensaio BMP e nos biorreatores.

Amostra	Parâmetros Analisados			
	Celulose + Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Lipídeos (%)	(C+H)/L *
Lixo.Jul.07	39,3	10,4	6,1	3,78
Lixo.Nov.07	23,4	16,4	4,7	1,43
Lixo.1 ano	4,1	20,7	11,9	0,19
Lixo.7 anos	9,1	61,5	3,4	0,15

* (C+H)/L = (celulose+hemicelulose)/lignina. Obs.: A amostra Lixo.Dez.07 não foi analisada.

Tal fato ocorreu conforme o esperado, uma vez que estas últimas amostras já podem ser consideradas em processo de decomposição mais avançado, quando comparadas com as amostras Lixo.Jul.07 e Lixo.Nov.07. De acordo com Pueboobpaphan (2006), o uso da relação (C+H)/L é baseado na premissa de que a celulose e a hemicelulose são mais compostos facilmente consumidos durante a biodegradação anaeróbia quando comparados à lignina. A relação (C+H)/L teria um valor mais alto no caso da presença de matéria orgânica facilmente degradável, tais como restos alimentares, e um menor valor no caso de substâncias dificilmente biodegradáveis, como a madeira, por exemplo. Sendo assim, se a relação (C+H)/L é alta, a conversão de biogás é alta, se a relação for baixa, o mesmo ocorrerá com a geração de biogás.

Os resultados obtidos também são semelhantes aos dados apresentados na Tabela 4.5, que ilustra valores da literatura sobre a caracterização química dos resíduos de aterros. Pode-se observar que, para a maioria das amostras, o lixo de idade mais avançada (escavados de células de aterros) tais como os apresentados por Wang *et al.* (1994) possuem conteúdo de lignina superior ao de celulose e hemicelulose, ao contrário dos resíduos mais novos citados por Barlaz *et al.* 1990 e Wang *et al.*, 1997, que apresentam maior teor de celulose. Dessa forma, as amostras escavadas ou mais antigas indicadas na Tabela 4.5 possuem menor relação (C+H)/L do que aquelas em estágio inicial de decomposição.

Outra forma de avaliar o grau de biodegradação de amostras de resíduos sólidos citada pela literatura é através da relação Celulose/Lignina (%C / %L). De Araujo Morais J. (2006) cita estudos (BOOKTER *et al.*, 1982; BORGES DEL CASTILHOS, 1988; STINSON *et al.*, 1995; KELLY, 2002), onde caso a relação (%C / %L) obtenha valor próximo a 4, o resíduo é considerado novo, de 0,9 a 1,2 o resíduo está parcialmente estabilizado e sendo 0,2 o resíduo já está com seu processo de degradação considerado estabilizado. No presente trabalho não foi possível utilizar esse método de avaliação, uma vez que a análise de substâncias orgânicas foi obtida através do valor total da quantidade de celulose e hemicelulose [% (C+H)].

Tabela 4.5 Principais resultados da caracterização química de resíduos relatados na literatura.

Referência	Amostra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Lipídeos (%)	Proteínas (%)	(C+H)/L
Barlaz <i>et al.</i> 1990	Resíduos sólidos	51,2	11,9	15,2	---	4,2	4,15
Wang <i>et al.</i> , 1997	Resíduos alimentares	50,7	6,7	9,8	---	18,8	5,86
Olivier <i>et al.</i> , 2005	Resíduos sólidos	---	---	---	5,9	3,8	---
De Araújo Morais J., 2006	Resíduos sólidos	---	---	---	3,5 - 4,6	---	---
Wang <i>et al.</i> , 1997	Resíduos alimentares (após decomposição)	7,6	3,1	18,8	N.A.	3,8	0,57
Olivier <i>et al.</i> , 2005	Resíduos sólidos (aprox.2 anos)	---	---	---	3,8	2,4	---
Wang <i>et al.</i> , 1994	Resíduos sólidos escavados – 3 a 9 m	2,9	1,2	75,7	---	---	0,05
	Resíduos sólidos escavados – 6 a 12 m	6,2	1,6	76,9	---	---	0,10
	Resíduos sólidos escavados – 3 a 5m (aprox. 20 anos)	5,4	5,8	11,9	---	---	0,94

4.2 Análise da Geração de Biogás

4.2.1 Análise do Lixo x Lodo

Durante a realização do ensaio BMP com metais pesados, foram selecionadas também amostras sem metais para o estudo da potencialidade do lodo e sua interação com os resíduos, conforme descrito tópico 3.2, no Capítulo 3. Analisando a Figura 4.1, que ilustra o comportamento da geração de biogás nas amostras de lixo e lodo coletadas em Julho de 2007, observa-se que, de maneira geral, a geração de biogás da amostra contendo apenas lixo foi inferior a de apenas lodo, apresentando valores de geração acumulada de 44,9 e 101,4 NmL, para o lixo e o lodo, respectivamente. (Tabela 4.6).

É importante salientar que a amostra de lodo em questão (Lodo.Jul.07) obteve geração de biogás bem superior às diferentes amostras de lodo estudadas nos demais ensaios, o que pode ter ocorrido devido ao maior teor de sólidos voláteis dessa amostra, conforme apresentado na Tabela 4.3. No entanto, o objetivo desta pesquisa foi comparar

o comportamento geral da interação lodo+lixo, independente dos valores brutos de geração obtidos pelas amostras de lodo.

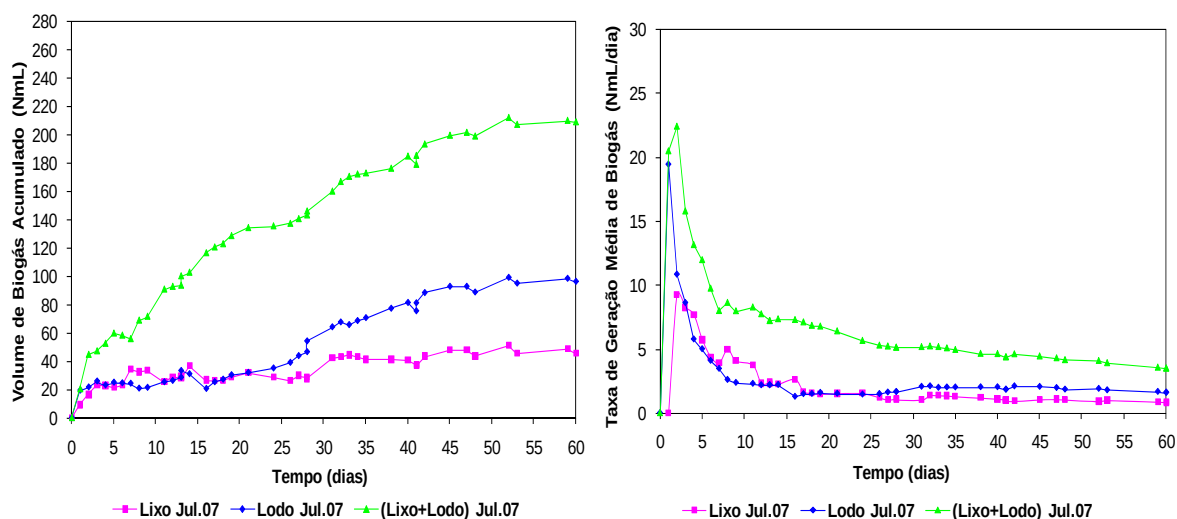


Figura 4.1 Comportamento da geração de biogás nas amostras de Lixo e Lodo de Julho de 2007.

Tabela 4.6. Valores da produção de biogás para as amostras de lixo e de lodo de Julho de 2007.

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
Lodo Jul.07	101,4	19,4	----	----	----	----
Lixo Jul.07	44,9	9,2	44,9	17,9	36,5	44,9
(Lixo+Lodo) Jul.07	225,9	22,3	124,5	49,8	101,2	124,5
(Lixo+Lodo25)Jul.07	187,1	10,5	----	----	----	----

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; NmL/gSV = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis

Em relação à taxa de geração máxima de biogás das amostras (Figura 4.1), o lixo e o lodo obtiveram, respectivamente, índices máximos de 9,2 e 19,4 NmL/dia, o que também demonstrou a maior potencialidade do lodo em relação ao lixo, durante o período de monitoramento. A geração de biogás no lodo ocorre de forma mais acelerada, dada a maior disponibilidade de nutrientes associada ao conteúdo de água presente no meio. O lixo apresenta geração de biogás mais lenta, devido ao menor conteúdo de água, quando comparado ao lodo, dificultando o acesso e captura de nutrientes por parte dos microrganismos.

A água se apresenta, portanto, como fator fundamental para o transporte e a absorção celular de diversas substâncias (proteínas, lipídeos, carboidratos, etc.). Conforme Lehninger (1991), por penetrar todas as partes de cada célula, a água é o

meio onde ocorrem o transporte de nutrientes, as reações do metabolismo catalisadas por enzimas e a transferência da energia química. Vale salientar que o potencial de geração de biogás dos resíduos sólidos é considerado superior ao do lodo, uma vez que a quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos é superior à matéria orgânica residual dos lodos. No entanto, a geração de biogás nos lodos ocorre de forma mais acelerada, ao contrário dos resíduos, que apresenta um comportamento de geração mais lento e gradual.

O comportamento da amostra (Lixo + Lodo) Jul.07, por sua vez, foi significativamente superior às amostras contendo apenas lixo ou lodo, atingindo a produção acumulada de 225,9 NmL, e taxa de geração máxima de 22,3 NmL/dia (Tabela 4.6). O valor do acumulado de biogás foi maior do que a soma dos valores isolados de cada amostra (Lixo Jul.07 + Lodo Jul.07), fato que pode ter sido caracterizado por uma reação bioquímica conhecida por sinergismo. Esta se caracteriza por reações químicas nas quais o efeito total da ação combinada é superior à soma dos efeitos de cada substância separadamente. Este fenômeno pode ser observado nos efeitos do lançamento de diferentes poluentes num mesmo corpo d'água (ODUM, 1988; PINTO-COELHO, 2002; RICKLEFS, 2003).

Sendo assim, é provável que o lodo tenha proporcionado entrada de água, nutrientes e microrganismos, aumentando a população microbiana e facilitando o acesso aos nutrientes presentes nos resíduos orgânicos utilizados no ensaio. Dessa forma, os compostos se tornaram mais disponíveis, acelerando a biodegradação e potencializando a geração de biogás.

Analisando a Figura 4.2, que ilustra a relação de volume acumulado de biogás em amostras com diferentes quantidades de inóculo (lodo), mas como mesma quantidade de lixo, observa-se maior geração de biogás para a amostra com maior quantidade de inóculo (50mL). Os valores acumulados da produção de biogás foram 225,9 e 187,1 NmL, respectivamente, para as amostras de 50 e 25mL (Tabela 4.6). Em relação ao comportamento da taxa de geração de biogás (NmL/dia) (Figura 4.2), foi observado uma maior taxa nos primeiros 5 dias, atingindo valores máximos de 22,3 mL/dia para a amostra com 50 mL, e 10,5 NmL/dia para a amostra de 25mL, que contém metade da quantidade de inóculo da amostra anterior. Isto representa um comportamento mais expressivo da amostra com 50 mL, o que ocorreu conforme o esperado e mostra, mais uma vez, a capacidade acelerada de geração de biogás por parte do lodo.

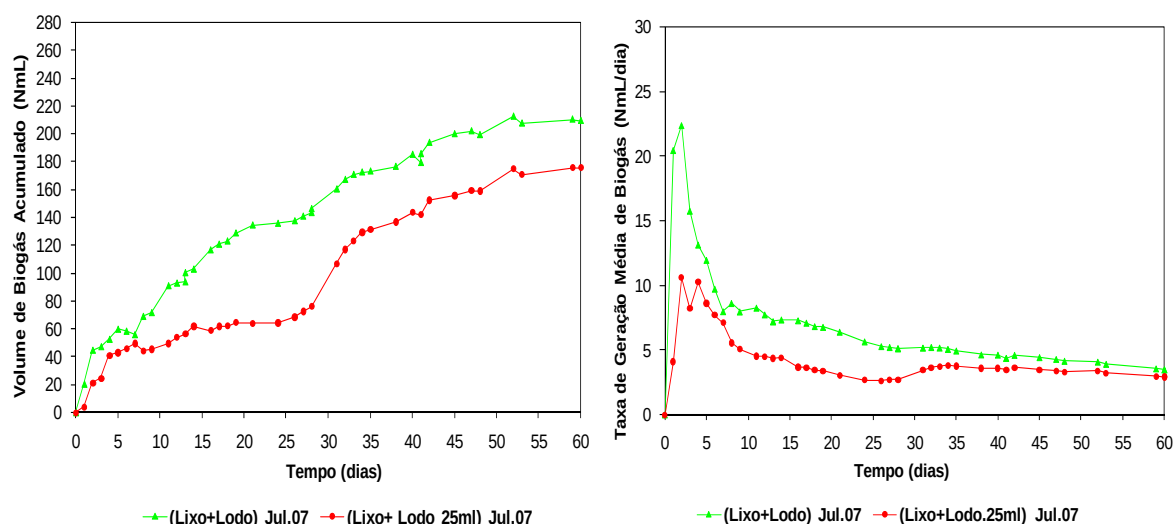


Figura 4.2 Comportamento da geração de biogás nas amostras com diferentes quantidades de lodo.

A análise do comportamento do lodo associado aos resíduos se mostra de fundamental importância para o entendimento de uma co-disposição de lodos e RSU, uma vez que, os lodos apresentam características que influenciam em aspectos como geração de biogás, lixiviado e odores, além da estabilidade do aterro. De acordo com a bibliografia técnica, a geração de biogás em aterros sanitários nos quais se co-dispõem lodos e resíduos, se acelera em comparação a um aterro sanitário sem lodos (ESPINACE *et al.*, 2007).

LIFSHITS & SHISHKIN (1995) também avaliaram a produção de biogás gerada pela mistura de lodo de esgoto e resíduos sólidos urbanos, sugerindo a utilização na proporção de 2,5/1 (lodo/resíduos sólidos) caso haja a necessidade de se encurtar o período de estabilização dos resíduos, diminuindo para 1/1,2 quando o objetivo for aumentar o tempo de biodegradação. Tal estudo indica a capacidade de aceleração desse processo quando lodo e resíduos sólidos são co-dispostos em aterros.

Além de contribuírem para aumentar o nível de saturação do aterro, os lodos possuem baixa resistência mecânica e aumentam a densidade do aterro. Por isso, se deve colocar em atenção especial a relação lodo/resíduos sólidos depositados, com o propósito de não gerar zonas de maior instabilidade no interior do aterro (ESPINACE *et al.*, 2007).

4.2.2 Análise da Influência dos Metais Pesados

4.2.2.1 Ensaio com Zinco (Zn) e Manganês (Mn)

O ensaio BMP realizado para testar a influência dos metais Zinco (Zn) e Manganês (Mn) foi realizado com a amostra de lixo referente a Julho de 2007. Analisando a Figura 4.3, que ilustra a taxa de geração de biogás dos frascos no Ensaio BMP com os metais Zn e Mn, nota-se que, para todos os frascos, durante os 60 dias de monitoramento, houve maior produção de biogás entre o 1º e o 5º dia, apresentando posteriormente pequenas oscilações e permanecendo praticamente constante do 15º em diante. Este comportamento caracteriza a geração acelerada de biogás devido à quantidade de amostra utilizada no ensaio (2,5g), uma vez que, quanto maior a quantidade de resíduos, mais lenta será a biodegradação, o que também será discutido no ensaio com biorreatores (tópico 4.2.4).

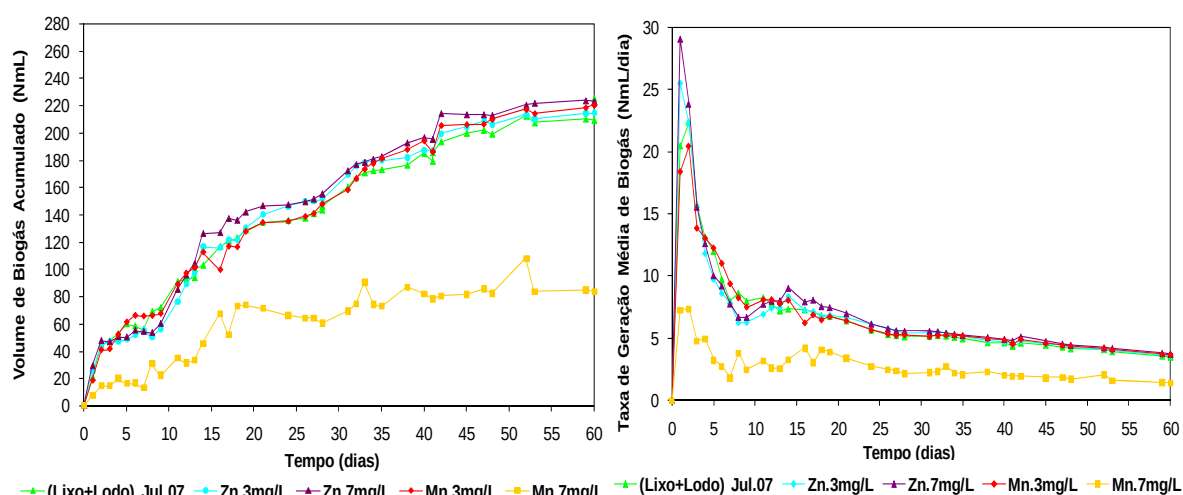


Figura 4.3 Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.

A máxima produção de biogás acumulada no ensaio BMP foi atingida pela amostra Zn.7 mg/L, produzindo aproximadamente 238,0 NmL de biogás e taxa de geração máxima de 29,0 NmL/dia (Tabela 4.7). De maneira geral, o comportamento das demais amostras foi bastante similar, com a exceção da Mn.7mg/L, que obteve uma geração acumulada de 94,5 NmL. Sendo assim, o potencial de geração de biogás obtido para esta amostra foi negativo, uma vez que o gerado por ela foi inferior ao gerado pela amostra de lodo, utilizada como controle do experimento. Os valores do potencial das demais amostras estão descritos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Valores da produção de biogás para as amostras de contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
(Lixo+Lodo) Jul.07	225,9	22,3	124,5	49,8	101,2	124,5
Zn.3mg/L	231,0	25,5	129,6	51,8	105,4	129,6
Zn.7mg/L	238,0	29,0	136,6	54,6	111,0	136,6
Mn.3mg/L	232,7	20,4	131,3	52,5	106,7	131,3
Mn.7mg/L	94,5	7,3	- 6,8 *	- 2,7 *	- 5,5*	-6,8

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; **NmL/gSV** = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis

* A geração de biogás do lodo foi superior ao da amostra Mn.7mg/L.

Observa-se, portanto, uma possível inibição da biodegradação na amostra Mn.7mg/L, ao longo dos 60 dias de monitoramento. Isto porque, segundo a literatura, interferências potenciais podem ocorrer durante o ensaio BMP quando altas concentrações de certos compostos estão presentes na amostra em teste. Isto pode estar ligado à inibição das arqueias metanogênicas ou estimulação de outras vias de decomposição anaeróbia tais como redução de sulfato ou nitrato (HARRIES *et al.*, 2001a).

Nos estudos realizados por Chen *et al.* (1995), onde foi observada a influência de diferentes variáveis sobre a geração de biogás durante a realização do ensaio BMP, curvas de geração semelhantes foram obtidas. Sendo assim, em relação à amostra do ensaio com metais Zn e Mn e de acordo com os autores, as curvas obtidas para a maioria das amostras podem indicar que cerca de 50% do rendimento total de biogás foi produzido aproximadamente de 10 a 12 dias após o término do período de inibição.

Os valores do potencial de geração de biogás das amostras de Zn e da amostra Mn.3mg/L não foram considerados baixos, uma vez que ficaram na mesma faixa da amostra padrão (Lixo+Lodo.Jul07). Sendo assim, pode-se sugerir que não houve influência significativa das diferentes concentrações do metal Zn e que houve influência do metal Mn em maior concentração (7mg/L). Nesse experimento, o Zn não se mostrou inibidor da geração de biogás, o que pode ter ocorrido devido sua atuação como elemento químico essencial, participando dos processos metabólicos de muitos microrganismos (Wikipedia - Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>> Acesso em 28/01/07).

Alguns conceitos sobre a capacidade de acumular metais pelos microrganismos têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias para remoção e/ou recuperação de

metais. Malik (2004), além de realizar um levantamento dos microrganismos capazes de acumular metais, também apresentou uma listagem dos principais processos e regiões celulares utilizados pelos microrganismos durante o processo de bioacumulação. Diversos gêneros bacterianos isolados de efluentes industriais mostraram resistência a diferentes metais, entre eles o Zn, dependendo de fatores tais como pH, temperatura de incubação e concentração do referido metal. *Aspergillus* spp. isolados de resíduos industriais foram relatados mostrando captação de Zn pelo crescimento celular em meio de cultura composto contendo açúcar e metal, apresentando remoção completa do Zn de efluentes industriais (STOLL & DUNCAN, 1996; SHARMA *et al.*, 2003).

Outros trabalhos que também retratam sobre bioacumulação/biossorção de metais, enfatizam a importância do processo para a biotecnologia e sua aplicação na solução de problemas ambientais. Gomes e colaboradores (1998), também realizaram um levantamento acerca da afinidade dos microrganismos com os metais, analisando sua capacidade de acumulação. Alguns gêneros microbianos tais como *Bacillus*, *Penicillium* e *Aspergillus* foram analisados e apresentaram maior afinidade ou capacidade de acumulação ao Zn do que ao Mn. Em outros estudos, microrganismos isolados de sistemas de tratamento biológico de efluentes industriais foram capazes de remover 97,2% de Zn e 86,3% de Mn. Por biolixiviação, bactérias do gênero *Thiobacillus* foram capazes de solubilizar de sedimentos contaminados 96 a 98% de Zn e 62 a 68 % de Mn, o que caracteriza mais uma vez maior afinidade pelo metal Zn, quando comparado ao Mn. (ZALUSKI *et al.*, 2001; CHEN & LIN , 2001; CHEN & LIN, 2004).

É importante salientar que os microrganismos relatados também participam das etapas de biodegradação dos resíduos sólidos, compondo a microbiota dos aterros sanitários, e têm diferentes capacidades acumulativas. Há, no entanto, um limite de tolerância no que diz respeito às concentrações dos metais levados em consideração, uma vez que, conforme Jordão & Pessoa (1995), em concentrações elevadas os metais também podem inibir a biodegradação e o tratamento biológico, contaminando o solo de áreas de aterros por lixiviação.

4.2.2.2 Ensaio com Ferro (Fe)

O ensaio BMP desenvolvido para testar a influência do metal Fe foi realizado com a amostra de lixo referente à Novembro de 2007. De maneira geral, analisando a Figura 4.4, observa-se que as três concentrações testadas (2, 7 e 20 mg/L) apresentaram trajetória semelhante à gerada pela amostra padrão (Lixo+Lodo)Nov.07, não influenciando de forma significativa o comportamento geral da geração de biogás. As taxas de geração máxima estão apresentadas na Tabela 4.8. Ao verificar os valores do potencial de geração de biogás nota-se que a amostra Fe.20mg/L obteve o menor índice, 92,6 NmL/gSV, ao contrário das demais amostras, que atingiram valores na faixa de 100 a 104 NmL/gSV.

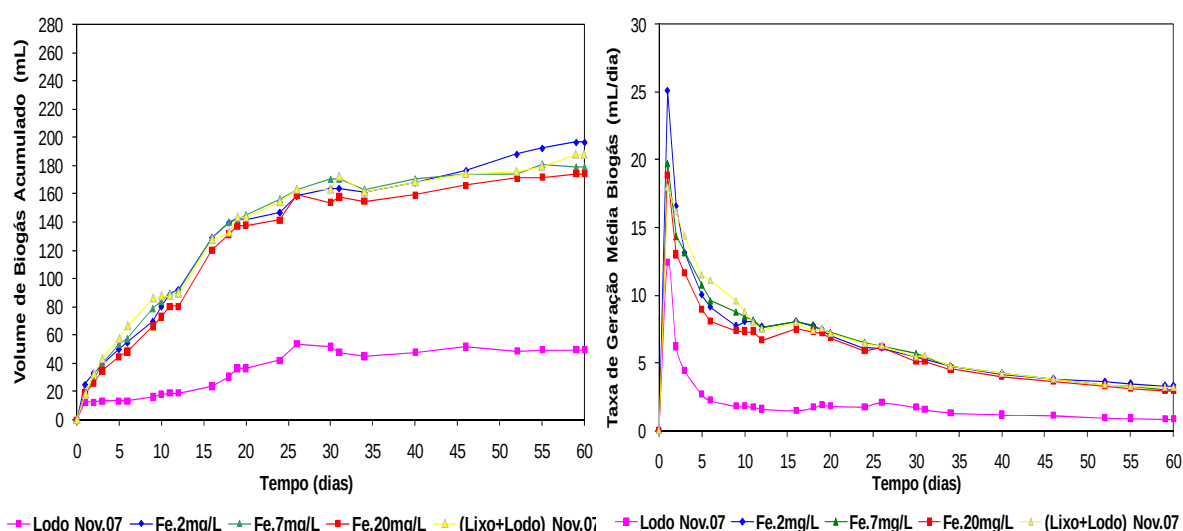


Figura 4.4 Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Fe em diferentes concentrações.

Tabela 4.8 Valores da produção de biogás para as amostras contendo Fe em diferentes concentrações.

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
Lodo Nov.07	53,5	12,4	----	----	----	----
(Lixo+Lodo) Nov.07	202,1	17,9	148,5	59,4	104,6	136,3
Fe 2mg/L	201,2	25,1	147,6	59,0	104,0	135,5
Fe 7mg/L	196,7	19,7	143,2	57,2	100,8	131,3
Fe 20mg/L	185,1	18,8	131,6	52,6	92,6	120,7

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; NmL/gSV = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis.

Uma possível baixa inibição do metal Fe nas concentrações de 2 e 7 mg/L pode ser explicada pela atuação do referido metal, de maneira particular, sobre reações bioquímicas dos microrganismos, atuando muitas vezes como estimulador do processo. Um exemplo é que alguns microrganismos, tais como bactérias metanotróficas, que usam o metano (CH₄) como fonte de energia e de carbono, utilizam proteínas onde os átomos de ferro se enlaçam entre si através de pontes de oxigênio, chamadas monooxigenases, para catalisar a oxidação do metano (Wikipedia - Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro>> Acesso em 28/01/07).

A baixa inibição do Fe indicada no ensaio realizado também pode ser justificada pela sua presença natural em solos. É o metal de transição mais abundante da crosta terrestre, e o quarto entre todos os elementos (BRAGA *et al.*, 2002; BELTRÃO *et al.*, 2005). Segundo Souto & Povinelli (2007) grande parte do ferro presente nos lixiviados de aterros é oriunda provavelmente da argila usada na cobertura das células.

Aliado a isso, um estudo realizado no Aterro da Muribeca-PE constatou que a presença de Fe em concentrações maiores no lixiviado reforça a hipótese de lixiviação do solo de cobertura das células, ocasionada pela infiltração de água da chuva. Segundo os autores, o estabelecimento do mecanismo de transporte de metais em solos naturais não é apenas determinado pela condutividade hidráulica, mas também pela presença de microrganismos e de substâncias orgânicas capazes de reter metais pesados (OLIVEIRA & JUCÁ, 1994).

Em outra pesquisa, que teve como objetivo analisar os principais efeitos de diferentes elementos sobre o percentual de inibição da atividade metanogênica específica (AME), observou-se o sódio, cromo, fenol e sulfato como os principais atuantes. Os efeitos negativos de outros elementos, entre eles o Fe, analisados separadamente e em interações, não foram considerados significativos (ALVES *et al.*, 1995).

A literatura também relata que microrganismos isolados de sistemas de tratamento biológico de efluentes industriais foram capazes de remover 99% de Ferro em estudos realizados em laboratório. Sendo assim, é reforçada a possibilidade de afinidade desse metal com os microrganismos, mesmo em concentrações maiores (ZALUSKI *et al.*, 2001).

Dessa forma, o estudo realizado possibilita maior compreensão da ocorrência da interação “microrganismos-metals pesados” em ecossistemas complexos, como é o caso

de aterros de resíduos sólidos, exercendo papel importante no entendimento do processo degradativo dos resíduos e, consequentemente, na geração de biogás.

4.2.3 Análise dos Lixos de Diferentes Idades

O ensaio BMP com lixos de diferentes idades foi realizado com amostras de lixo novo (recém chegados ao aterro), lixo de 1 ano (retirado de biorreator anaeróbico) e lixo de aproximadamente 7 anos, coletado de uma célula de lixo desativada, conforme descrito no tópico 3.2.2, no Capítulo 3.

O comportamento da geração de biogás com amostras de resíduos de diferentes idades está representado na Figura 4.5. Como previsto, pode-se observar que a amostra correspondente ao lixo considerado novo [(Lixo+Lodo)Dez.07] apresentou geração bem mais expressiva do que as demais amostras, atingindo acumulado da ordem de 216, 4 NmL, o que equivale a 162,0 NmL/gSV (Tabela 4.9). As amostras Lixo.1 ano e Lixo.7 anos tiveram valores bem inferiores, ocasionado pelo grau de degradação mais avançado, quando comparadas com a amostra de lixo novo. Por outro lado, a amostra de 1 ano apresentou uma geração acumulada inferior a da amostra de 7 anos, obtendo respectivamente 12,5 e 39,3 NmL.(Tabela 4.9), o que será discutido posteriormente com mais detalhes.

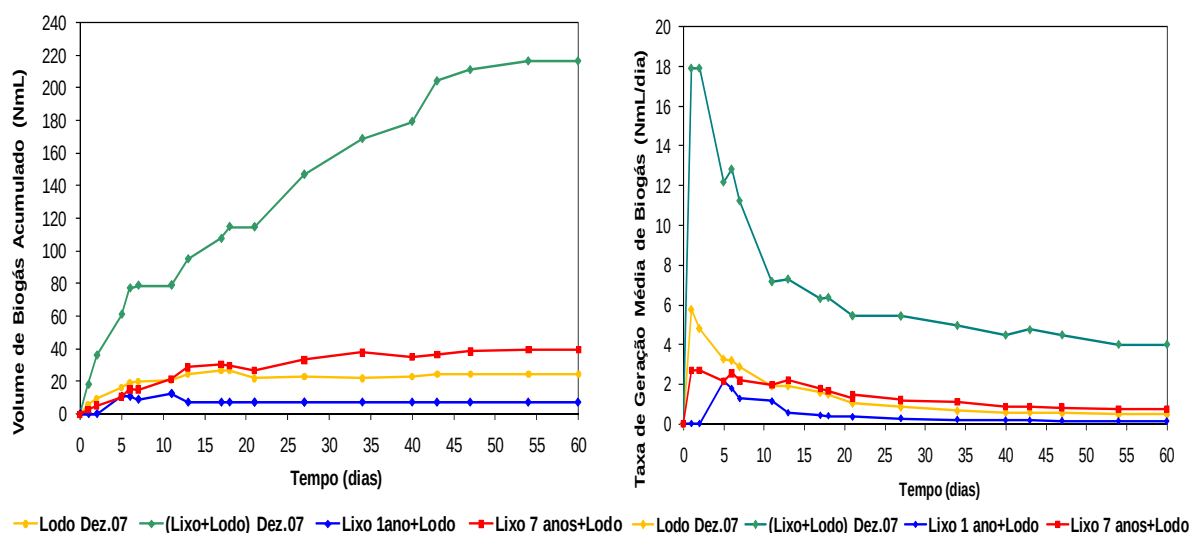


Figura 4.5 Comportamento da geração de biogás nas amostras de lixo de diferentes idades.

Tabela 4.9 Valores da produção de biogás para as amostras de lixos de diferentes idades.

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
Lodo Dez.07	26,8	5,7	----	----	----	----
(Lixo+Lodo) Dez.07	216,4	17,9	189,6	75,8	162,0	170,8
Lixo.1 ano	12,5	2,1	-14,2 *	-5,7*	-13,9*	-12,6*
Lixo 7 anos	39,3	2,6	12,5	5,0	54,6	23,7

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; **NmL/gSV** = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis; **NmL/gMS** = NmL Biogás/g Matéria Seca.

* A geração de biogás da amostra “Lixo.1 ano” foi inferior ao Lodo.

Em relação às taxas máximas de geração de biogás, as amostras obtiveram, respectivamente, 17,9, 2,1 e 2,6 NmL/dia, para as amostras (Lixo+Lodo)Dez.07, Lixo.1 ano e Lixo.7 anos (Tabela 4.9). Sugere-se, portanto, que tenha ocorrido inibição da biodegradação ou vazamento de gás durante o período de monitoramento dos frascos contendo a amostra Lixo.1 ano. Uma de suas duplicatas não apresentou variação da pressão interna do frasco, o que caracterizou a ausência total da geração de biogás, acarretando na geração acumulada da amostra Lixo.1 ano inferior ao Lodo (Tabela 4.9).

Vale salientar que a amostra Lixo.1 ano tinha elevado teor de sólidos voláteis (40,9%) e que o lodo utilizado foi o mesmo para todas as amostras deste ensaio, variáveis estas, que influenciariam na geração do biogás. Sendo assim, os valores de geração obtidos pela amostra Lixo.1 ano não serão considerados representativos. É importante ressaltar que apenas os dados dessa amostra não se mostraram viáveis, não sendo considerados como parâmetro comparativo para as demais amostras desse ensaio.

Alguns pesquisadores relatam experimentos com resíduos de diferentes idades, apresentando valores de potencial de geração de biogás para matéria orgânica já estabilizada. Kelly (2002) trabalhou com a avaliação de métodos analíticos para prognosticar a estabilização do processo de biodegradação dos resíduos sólidos. Utilizando o ensaio BMP, obteve valores da ordem de 10 a 20 NmL de biogás/g de matéria seca para os resíduos com processo de degradação considerado estabilizado. No entanto, há autores que já apresentam como referência geração de biogás inferior a 45 NmL/g de matéria seca para caracterizar a estabilização dos resíduos (REINHART & TOWNSEND, 1998).

De Araújo Morais J. (2006) utilizou em seus experimentos resíduos submetidos a pré-tratamento mecânico e biológico, para avaliar o comportamento físico-químico e biológico em Instalações de Estocagem de Resíduos, na França. Utilizando amostras

brutas e estabilizadas, obteve valores da ordem de 26,6 a 81,5 NL de biogás/Kg SV para as amostras consideradas estabilizadas.

Baseado nos resultados apresentados na literatura, pode-se dizer que a amostra Lixo.7 anos se enquadra como já estabilizada, uma vez que apresentou potencial de geração de biogás de 24,1 NmL/gMS (Tabela 4.9). Tal fato ocorreu conforme o esperado, uma vez que a referida amostra foi coletada de uma célula de lixo desativada há cerca de 7 anos.

Analisando o comportamento dos resíduos de maneira geral, sabe-se que o tempo de aterramento influencia no potencial de geração de biogás, uma vez que quanto mais avançado esteja o processo de biodegradação, menor será a geração de biogás ao longo dos anos, já que a quantidade de nutrientes disponível aos microrganismos tende a diminuir, conforme discutido no Capítulo 2 (Figura 2.8).

Harries *et al* (2001a) afirma que é importante a utilização do ensaio BMP como ferramenta para análise de amostras de aterros mais antigos, dada a necessidade de se determinar o potencial de futuras emissões de biogás, ou seja, acompanhar o comportamento da geração ao longo dos anos, através da coleta de diversas amostras de resíduos com diferentes idades.

Com base nesses dados, se torna então possível estabelecer padrões de geração de biogás do aterro em questão, através de modelos de geração de biogás que se utilizem como dados de entrada os valores obtidos nas próprias formulações experimentais. Dessa forma, podem ser obtidas curvas reais de geração características do aterro em estudo e não apenas baseadas em modelos pré-existentes que determinem padrões aproximados de geração.

4.2.4 Biorreatores de Bancada

Para o ensaio da influência da umidade sobre a biodegradação, utilizando biorreatores, foram utilizados resíduos orgânicos referentes à amostra de Julho de 2007. A Figura 4.6 apresenta o comportamento da geração de biogás nos reatores de bancada com diferentes umidades. Observa-se que, de maneira geral, houve maior produção de biogás entre o 1º e o 10º dia, o que ocorreu em similaridade com os estudos desenvolvidos por Chen *et al.* (1995), onde 50% do rendimento total de biogás foi produzido em cerca de 10 dias.

A geração máxima foi atingida entre o 1 e o 10º dia, o que não ocorreu nos ensaios BMP, onde os maiores valores de geração de biogás foram obtidos até o 5º dia, o que pode ter ocorrido devido à quantidade de amostra diferenciada utilizada nos dois ensaios, respectivamente 550g e 2,5g para os biorreatores e o ensaio BMP. Uma quantidade de resíduo maior tende a requerer mais tempo para ser biodegradada, devido à complexidade do ambiente em que os microrganismos estão inseridos.

A maior produção de biogás foi obtida pelo reator com 80% de umidade, e a menor, pelo reator com 20%, atingindo, respectivamente, produção de biogás acumulada de 7774,7 NmL e 499,1 NmL, e taxa de geração máxima de 792,5 e 54,6 NmL/dia (Tabela 4.10). Apesar atingir valores elevados, os reatores, de maneira geral, obtiveram baixos índices de potencial de geração de biogás (Tabela 4.10), uma vez que, para tanto, é necessário levar em consideração a quantidade total de resíduos utilizada e de sólidos voláteis da amostra.

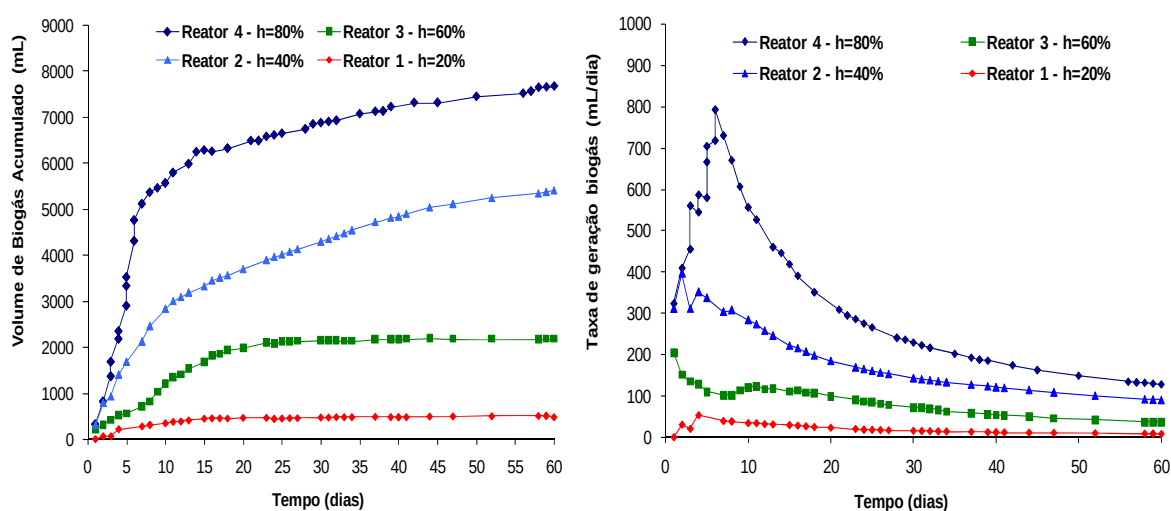


Figura 4.6 Comportamento da geração de biogás no biorreatores de bancada com diferentes umidades.

Por outro lado, as curvas de geração de biogás obtidas (Figura 4.6) podem ser levadas em consideração para se entender, de maneira geral, a influência das diferentes umidades ao longo do período de monitoramento. Sendo assim, é possível que condições extremas de baixa e elevada umidade tenham dificultado e favorecido, respectivamente, a degradação dos resíduos. Autores afirmam que a faixa ótima de umidade para a degradação biológica deverá ser entre 20-40%. Já conforme US Army Corps of Engineers (1995) *apud* Maciel (2003) há aumento da geração de biogás em umidades variando de 50-60%.

Tabela 4.10 Valores da produção de biogás para as amostras de lixo dos biorreatores com diferentes umidades.

Amostra	Produção de Biogás			
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	NmL/gSV	NmL/gMS
Reator 1 (20% umidade)	499,1	54,6	2,0	2,2
Reator 2 (40% umidade)	5558,3	395,9	22,4	25,2
Reator 3 (60% umidade)	2192,8	204,9	8,8	9,9
Reator 4 (80% umidade)	7774,7	792,5	31,4	35,3

NmL/gSV = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis; **NmL/gMS** = NmL Biogás/g Matéria Seca.

Nos estudos realizados por Ensinas (2003), a curva de geração de metano obtida através de formulações teóricas (Figura 2.12, Capítulo 2), utilizando dados obtidos no Aterro do Delta, mostrou-se bem semelhante à curva obtida com os dados experimentais do Reator 4 (80% de umidade), embora tenham sido utilizadas diferentes escalas de tempo para as duas pesquisas em questão.

Segundo JUNQUEIRA (2000) a entrada de uma carga extra de oxigênio dissolvido em água favorece o incremento da atividade metabólica de microrganismos aeróbios ou anaeróbios facultativos, o que pode ter contribuído para a maior geração de biogás no Reator 4 (80% umidade).

De acordo com Palmisano & Barlaz, (1996), o conteúdo de umidade dos resíduos frescos varia de 15 a 45%. Como não há determinação definitiva para o conteúdo mínimo ou máximo de umidade requisitada para a decomposição dos resíduos, os autores afirmam que 20% é um valor claramente baixo. Tal fato também pode ser observado nos experimentos realizados com o Reator 1, em que foi testado o teor de 20% de umidade, apresentando a menor geração de biogás entre todos os reatores analisados.

Wujcik & Jewell (1980) estudaram o efeito do conteúdo de umidade na fermentação em estudos em batelada com compostos análogos aos presentes na decomposição química dos resíduos. A produção de metano diminuiu num conteúdo de umidade abaixo de 70% e a produção em 30% de umidade foi 22% menor do que o obtido na umidade de 70%.

Emberton (1986) avaliou dados da produção de biogás em diversos aterros no Reino Unido. Quando dados de todos os locais foram combinados, houve uma forte

correlação entre o conteúdo de umidade e o nível de produção de biogás. Outros trabalhos mostraram que a adição de umidade acentuou a produção de biogás em até 67% das amostras testadas (GURIJALA & SUFLITA, 1993; HAM *et al.*, 1993).

Segundo Palmisano & Barlaz (1996), estudos sobre o efeito do conteúdo de umidade sobre a produção de metano são muitas vezes confundidos pela influência do pH dos resíduos. Conforme os mesmos autores, a adição de umidade estimula a atividade fermentativa, que pode liderar a um acúmulo de ácidos carboxílicos e acidificar o pH. Dessa forma, um conteúdo de umidade elevado, na ausência do controle do pH, pode resultar na diminuição do tempo requerido para alcançar a fase anaeróbia ácida. Todavia, na ausência de neutralização, a decomposição poderá permanecer “estagnada” nessa fase. Em muitos estudos em escala de laboratório, a respeito dos efeitos da umidade na decomposição dos resíduos, o rendimento do metano tem sido bem abaixo da quantificação em campo em virtude do conteúdo de umidade.

A USEPA (1991), afirma que uma umidade alta (60 a 90%) pode aumentar a geração de biogás. A construção de um aterro com baixa permeabilidade para controle da formação de chorume mantém a umidade do lixo baixa e pode prejudicar a formação de biogás. No entanto, é importante ressaltar que a umidade é provavelmente o fator de maior influência na estabilização do lixo, o que torna importante que condições otimização da degradação sejam bem estudadas antes de serem aplicadas em campo.

Também deve ser reforçado o fato de que a umidade excessiva pode se tornar um fator negativo na atividade dos organismos como um todo. O teor de umidade, por sua vez, varia de um lugar para o outro, dependendo das condições climáticas, composição do lixo, práticas de coleta entre outros (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Apesar de ser considerada um parâmetro crucial para a degradação de resíduos sólidos, a umidade é uma variável de difícil controle dentro dos aterros. No presente trabalho, a umidade foi selecionada apenas no início do experimento, não havendo controle desse parâmetro ao longo dos 60 dias de monitoramento, dada a dificuldade de se estudar a variação da umidade dentro da massa de resíduos.

Em contrapartida, experimentos conduzidos em laboratório por alguns pesquisadores têm objetivado o desenvolvimento de sensores de umidade *in situ*, resistentes às adversidades do campo. Considerando algumas limitações, como tamanho da amostra, as técnicas desenvolvidas já recomendam seu uso em bioreatores de bancada, onde altos conteúdos de umidade são esperados. Alguns medidores de umidade experimentais permitem a medição simultânea de temperatura e gás

proporcionando condições de monitoramento ideais ao longo das camadas de resíduos (YUEN, *et.al*, 2000; GAWANDE *et al.*, 2003; FUCHS *et al.*, 2008).

4.3 Estimativa Geral do Ensaio com Metais Pesados e Biorreatores

Em relação à influência das variáveis estudadas, de maneira geral, os resultados obtidos nos ensaios com metais pesados (Zn, Mn e Fe) bem como nos ensaios com lixos de diferentes idades e umidade mostraram a ação desses parâmetros sobre o potencial de geração dos resíduos da Muribeca-PE, seja através do aumento ou da diminuição da geração de biogás das amostras analisadas. Em relação aos potenciais de geração de biogás, as amostras de metais pesados que apresentaram resultados mais expressivos foram Zn.7mg/L, Mn.7mg/L e Fe.20mg/L, mostrando-se superiores ou inferiores aos dados obtidos pelas respectivas amostras padrões (Lixo+Lodo).

Segundo Alves *et al.* (1995) quando se inicia o estudo dos processos de digestão anaeróbia há tendência para pensar que se trata de um simples processo de fermentação e que se podem controlar as variáveis do processo. No entanto, após a percepção da complexidade dos fenômenos envolvidos e avaliado o estado atual dos conhecimentos conclui-se que, apesar dos avanços verificados, existem ainda muitas variáveis que é difícil quantificar com rigor.

Não foi possível determinar o potencial de geração de biogás da amostra Mn.7mg/L, uma vez que sua produção foi inferior à gerada pela amostra de Lodo, o que pode caracterizar inibição do processo de biodegradação. Quando o potencial de geração de biogás das demais amostras citadas foram comparados com suas respectivas amostras padrões de resíduos orgânicos utilizadas nos ensaios BMP, as amostras que obtiveram os resultados mais expressivos apresentaram o seguinte comportamento: a amostra Zn.7mg/L mostrou um aumento de aproximadamente 9,74% no potencial de geração e a amostra Fe 20mg/L, por sua vez, mostrou redução de 11,43%. Em relação às amostras de lixos de diferentes idades, a amostra Lixo.7 anos apresentou baixo potencial de geração, quando comparado ao lixo considerado novo, indicando redução de cerca de 66,31%.

Muitos metais pesados são parte de enzimas essenciais que participam de numerosas reações anaeróbias. Análises de cerca de dez cepas de metanogênicas mostrou a seguinte ordem de metais pesados presentes na composição celular: $Fe \geq Zn$

$\geq \text{Ni} > \text{Co} = \text{Mo} > \text{Cu}$. Além disso, o Zn também é considerado componente de diversas enzimas em microrganismos anaeróbios. (TAKASHIMA & SPEECE, 1989; CHEN *et al.*, 2008). Como base nesses dados, é possível justificar ausência de inibição do metal Zn a baixa inibição do Fe nas menores concentrações estudadas.

Segundo Chen *et al.* (2008), além da forma físico-química, diferenças no substrato, gênero bacteriano e fatores ambientais também explicam a ampla variação (de poucas a várias centenas de mg/L) em dosagens relatadas de metais pesados e suas toxicidades relativas. Hickey *et al.* (1989) sugerem que a inibição por metais pesados poderia ser mais comparável se a dosagem de metal fosse expressa em miligrama de metal por grama de sólidos voláteis. Infelizmente, a maioria da literatura relata a concentração inibitória em valores de mg/L, o que tornaria essa comparação de concentrações inibitórias mais difícil.

O estudo da influência da umidade em biorreatores mostrou que os reatores com 20 e 80% apresentaram resultados mais expressivos, embora os potenciais de geração tenham ficado bem abaixo dos obtidos no ensaio BMP. É provável que isso tenha ocorrido devido à grande massa de resíduos utilizada nos reatores, quando comparado ao ensaio BMP, o que acarretaria num maior tempo para degradação completa da amostra. Chen e colaboradores (1995) afirmam que maiores concentrações de amostra resultam em baixas velocidades de degradação, o que poderia indicar supersaturação de ácidos graxos, inibindo a biodegradação.

No entanto, ao se comparar os potenciais de geração das amostras de 20 e 80% de umidade com a amostra de 40%, que representaria a amostra com teor de umidade inicial dos resíduos, verifica-se, respectivamente, redução de cerca de 91% e aumento de 28,5% do potencial de geração de biogás nessa amostra.

4.4 Estimativa Geral do Potencial de Geração de Biogás dos Resíduos

Para a avaliação da estimativa geral do potencial de geração de biogás dos resíduos sólidos do aterro da Muribeca-PE, foi realizada a média diária dos volumes acumulados (NmL) pelas amostras de resíduos orgânicos Lixo+Lodo.Jul.07 (Tabela 4.6), Lixo+Lodo.Nov.07 (Tabela 4.8) e Lixo+Lodo.Dez.07 (Tabela 4.9) sem os volumes gerados por suas referentes amostras de lodo (Lodo.Jul.07, Lodo.Nov.07 e Lodo.Dez.07), com intuito de obter apenas a geração da massa de resíduos, conforme

recomendado na metodologia adotada nessa pesquisa para o ensaio BMP, descrita por Hansen *et al.* (2004).

De acordo com o obtido pela média diária foi gerado um gráfico, apresentado na Figura 4.7, representando os 60 dias de monitoramento. O volume máximo acumulado foi de 154,2 NmL e o potencial de geração de biogás, por sua vez, foi de 120,5 Nm³/tonSV (Tabela 4.11).

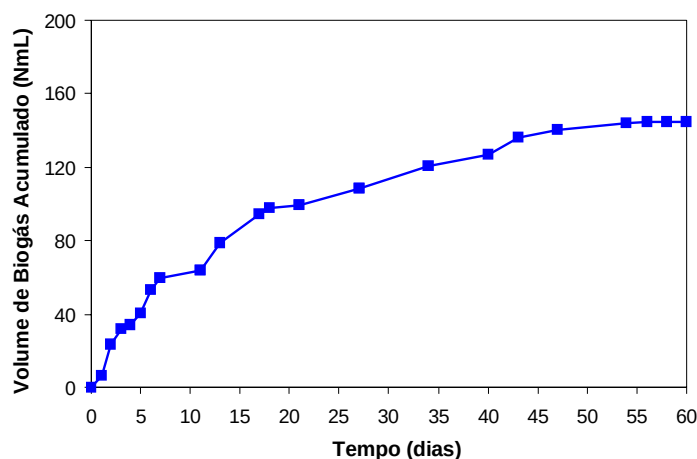


Figura 4.7 Comportamento do potencial de geração do biogás dos resíduos da Muribeca-PE.

Conforme Hansen *et al.* (2004), o potencial bioquímico de metano pode ser definido como o máximo de metano produzido até durante 50 dias de experimento, uma vez que o nível de produção de metano pode declinar devido à inibição. No entanto, vale salientar que conforme descrito no Capítulo 3, os valores das concentrações dos gases (CH₄ e CO₂) obtidos nos frascos dos ensaios BMP durante a pesquisa não foram considerados significativos.

Tabela 4.11 Valores da produção de biogás para os resíduos orgânicos do aterro da Muribeca-PE.

Amostra	Produção de Biogás				
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
Lixo.Jul.Nov.Dez.07	154,2	19,4	61,7	120,5	145,4

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; **NmL/gSV** = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis; **NmL/gMS** = NmL Biogás/g Matéria Seca.

Sendo assim, embora a leitura da concentração de CH₄ não tenha sido obtida, será adotada uma concentração aproximada de CH₄, para efeito de comparação com os demais valores de BMP relatados na literatura (Tabela 2.14, Capítulo 2). Para tanto, serão considerados estudos preliminares realizados no Aterro da Muribeca-PE, que indicaram concentrações de CH₄ variando de 30 a 66% (Jucá *et al.*, 2005a). Com base nesses resultados, se fosse gerada uma concentração média de 48% de CH₄ pela amostra geral dos resíduos do aterro e fosse adotado o valor de 120,5 Nm³/tonSV para o potencial de geração de biogás (Tabela 4.11), seria obtido um potencial de aproximadamente 57,8 Nm³CH₄/tonSV.

Ao comparar este valor com alguns dados reportados na literatura, sumarizados na Tabela 2.14, observa-se que, de maneira geral, a quantidade de biogás relatada por outros trabalhos é, muitas vezes, superior ao obtido nos ensaios com os resíduos da Muribeca. É importante ressaltar que esse potencial bioquímico de metano encontrado para a Muribeca foi apenas um valor sugerido, o que dificulta a comparação com dados reais obtidos em outros aterros. Por outro lado, observa-se dentre os valores mais baixos relatados está o potencial citado por Vazoller *et al.* (2001), que também realizou estudos no Brasil, e que, avaliando o potencial de biodegradabilidade de dois aterros experimentais, obteve 91 Nm³CH₄/ton SV.

É importante ressaltar que embora alguns trabalhos retratem a adição de nutrientes para o ensaio BMP, no presente trabalho houve apenas a adição do inóculo. Chen e colaboradores (1995) relatam que a adição de nutrientes extra e a mistura da amostra podem influenciar no potencial total de biogás, desde que o conteúdo de água e de inóculo não sejam considerados satisfatórios. Os pesquisadores, ao estudarem os efeitos do conteúdo de água, nutrientes, concentração de inóculo e tamanho da amostra sobre a performance de ensaios BMP, verificaram que conteúdo de água, tamanho da amostra e concentração de inóculo estão mais fortemente relacionadas à velocidade de degradação. Sendo assim, nutrientes adicionais podem afetar a produção de gás total para casos de baixo conteúdo de água e baixa concentração de inóculo, mas seu efeito sobre a velocidade de produção de biogás é pequeno.

Embora ainda não seja possível afirmar com confiabilidade o potencial de geração de biogás dos resíduos da Muribeca, considerando que melhoramentos no ensaio precisam ser realizados, os resultados apresentados podem ser utilizados como base de dados preliminares. Utilizando o potencial de geração de biogás obtido no ensaio BMP como ferramenta para obtenção de valores energéticos e considerando o

potencial de geração de biogás dos resíduos da Muribeca de 120,5 Nm³/tonSV (Tabela 4.11), a produção de energia estaria representada em aproximadamente 171,6 kWh/ton SV, adotando que 1Nm³ equivale a 1,43 kWh (Tabela 2.13, Capítulo 2).

O recebimento de resíduos no aterro da Muribeca é de cerca de 2600 toneladas por dia (MARIANO *et al.*, 2007). Sendo assim, considerando teor de sólidos voláteis de cerca de 50%, a produção anual estaria na faixa de 6.528 m³/hora. Esse resultado se apresenta abaixo dos valores relatados por Jucá *et al.* (2005b), cuja estimativa da produção anual de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca estaria na faixa de 8.400 a 11.400m³/hora, possuindo o aterro uma potência instalada no intervalo de 10 a 13,6 MW.

Vale salientar que conforme Alves *et al.* (1995), a investigação em tecnologia da digestão anaeróbia, nomeadamente o estudo de desenvolvimento de reatores, requer uma dedicação laboratorial constante onde prevalece o trabalho de rotina durante longos períodos de tempo para que se torne possível a análise coerente de resultados. No entanto, de maneira geral, tanto nos biorreatores como nos ensaios BMP, os estudos realizados mostraram tendências de comportamentos de geração de biogás que podem ser levados em consideração, uma vez que mostram resultados iniciais de pesquisas até então ainda não realizadas com os resíduos sólidos do aterro em questão.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 Conclusões

- O ensaio BMP se apresenta como uma excelente ferramenta experimental para determinação do potencial de geração de biogás de RSU, através da utilização de medições reais dos gases gerados e da obtenção de curvas de geração de biogás que indiquem características específicas dos resíduos sólidos de um aterro em questão.
- O grau de biodegradabilidade dos resíduos orgânicos da Muribeca-PE, obtido através da relação (Celulose+Hemicelulose)/Lignina, indicou presença de matéria orgânica facilmente degradável nos resíduos recém-chegados ao aterro, fato que facilitou a conversão dos resíduos a biogás.
- De maneira geral, a pesquisa realizada nos diferentes ensaios (metais pesados, lixos de diferentes idades e biorreatores com diferentes umidades) mostrou a influência dessas variáveis sobre o potencial de geração de biogás dos resíduos da Muribeca-PE, através do aumento ou da diminuição de biogás gerado nas amostras analisadas.
- Em relação ao desempenho dos metais pesados sobre a geração de biogás, foi verificado que o Zn não mostrou influência significativa nas duas concentrações estudadas (3 e 7mg/L), em contrapartida, houve influência negativa mais expressiva dos metais Mn e Fe nas maiores concentrações analisadas (7 e 20 mg/L, respectivamente).
- Nessa pesquisa, os metais Fe (em concentrações inferiores a 20mg/L) e Zn não atuaram negativamente na biodegradação e, conseqüentemente, na geração de biogás, haja vista suas participações como elementos químicos essenciais aos microrganismos e constituintes enzimáticos de processos anaeróbios.
- Em relação às amostras de lixos de diferentes idades, a amostra de Lixo de 7 anos apresentou potencial de geração de biogás dentro dos padrões de resíduos já

estabilizados e, quando comparado ao lixo novo, indicou redução de cerca de 66,3% no potencial de geração.

- A umidade apresentou influência significativa no potencial geração de biogás, uma vez que, condições extremas de baixa e elevada umidade (20 e 80%) dificultaram e favoreceram, respectivamente, a degradação dos resíduos.
- O potencial de geração de biogás dos resíduos do aterro da Muribeca-PE obtido nos ensaios foi de 120,5 Nm³/tonSV, o que pode representar em energia 171,6 kWh/ton SV.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

- Realizar ensaios BMP em triplicata, o que proporcionará maior confiabilidade na formulação dos dados, minimizando o efeito da heterogeneidade dos resíduos.
- Realizar análises de cromatografia gasosa durante o monitoramento do ensaio BMP e de biorreatores para quantificação adequada das concentrações de CH₄ e CO₂.
- Estudar diferentes concentrações dos metais pesados utilizados nessa pesquisa, bem como realizar estudos com outros metais a fim de proporcionar maior entendimento da influência desses elementos no processo de biodegradação.
- Realizar análises físico-químicas e microbiológicas nas etapas iniciais e finais dos experimentos, no lodo e no lixo a serem utilizados, o que proporcionará maior clareza acerca da evolução do processo de biodegradação e da geração de biogás.
- Estudar maior quantidade de amostras de lixo novo de aterros, o que proporcionará maior reprodutibilidade dos resultados e melhor avaliação do potencial de geração de biogás dos resíduos. Aliado a isso, coletar amostras de lixos de diferentes idades, para estabelecer curvas de geração ao longo do tempo, características do aterro em questão.
- Estudar o potencial de geração de biogás dos resíduos em frascos e reatores de maior escala, para avaliar a eficiência das diferentes metodologias e a influência do volume da amostragem no potencial de geração de biogás.

- Testar a metodologia do ensaio BMP utilizado nessa pesquisa com a adição de nutrientes, além do lodo, bem como utilizar diferentes tipos de materiais (papel, madeira, resíduos de jardim, restos de comida, etc.) como substrato para avaliar a influência isolada desses elementos no potencial de geração de biogás dos resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE Department. (2007). Department of Agricultural and Biological Engineering - University of Florida. *Responses of biological systems to environmental stimuli – Biochemical Methane Potential determination*. Disponível em: <www.abe.ufl.edu/~chyn/download/ABE2012C/bmplab_leary.doc>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2007.

ALCÂNTARA, P. B (2007). *Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados*. Tese de Doutorado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 366 p.

ALVES, L.C.; CAMMAROTA, M.C.; FRANÇA, F.P. (1995). Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluente de laboratório de controle de poluição. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n. 3. p. 236-242.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE (2005). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. 5ª ed. 180p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1987). NBR10004: *Resíduos Sólidos – classificação*.

_____. NBR7989: *Pasta Celulósica e Madeira - Determinação de Lignina Insolúvel em Ácido*.

BARLAZ, M.A.; HAM, R.K.; SCHAEFER, D.M. (1990). Methane production from municipal refuse: a review of enhancement techniques and microbial dynamics. *Critical Reviews in Environmental Control*, v.19, n.6, p.557-584.

BARLAZ, M.A.; ELEAZER, W.E.; ODLE, W.S.; QIAN, X.Y.; WANG, Y.S. (2004). *Biodegradative Analysis of Municipal Solid Waste in Laboratory-Scale Landfills*. Disponível em: <http://www.epa.gov/climatechange/wywd/waste/downloads/Barlaz_Biodegradative_analysis_in_laboratory_scale_landfills.pdf>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2008.

- BAYARD, R.; GACHET, C.; ARCHOUR, F.; BRAUER, C.; GOURDON, R. (2005). Organic matter stabilization of sorted MSW under leachate recirculation. Proceedings Sardinia. *Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy.
- BELTRÃO, K.G.Q.B.; ALVES, M.C.M.; JUCA, J.F.T.; FIRMO, A.L.B; BRITO, A.R. (2005). Estudo da sorção de metais do chorume da Muribeca em compósitos de solo caulínico e carvão de coco. *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, MS.
- BEVERIDGE, T.J.; MURRAY, R.G. (1980). Sites of metal deposition in the cell wall of *Bacillus Subtilis*. *Journal of Bacteriology*, v.141, n. 2, p. 876-887.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos: EESC/ Universidade de São Paulo. 120p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2002). *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall. 305p.
- CASSINI, S.T; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDREOLI, C.V; FRANÇA, M.; BORGES, E.S.M.; GONÇALVES, R.F. (2003). Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In.: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 210p.
- CHEN, H.; ECKE, H.; KYLEFORS, K.; BERGMAN A.; LAGERKVIST, A. (1995). Biochemical Methane Potential assays of solid waste samples. In.: *Proceedings Sardinia, Fifth International Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v.1. p. 615-627.
- CHEN S.Y.; LIN, J.G. (2001). Effect of substrate concentration on bioleaching of metal-contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, v.82, p.77–89.
- CHEN S.Y.; LIN, J.G. (2004). Bioleaching of heavy metals from contaminated sediment by indigenous sulfur-oxidizing bacteria in an air-lift bioreactor: effects of sulfur concentration. *Water Research*, v. 38, p. 3205–3214.

CHEN, Y.; CHENG, J.; CREAMER, K.S. (2008). Inhibition of anerobic digestion process: A Review. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 4044-4064.

CHO, J.K. (1995). Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes. *Fuel and Energy Abstracts*, v. 36, n.5, p. 345-345.

DE ARAUJO MORAIS J. (2006). *Influence des pré-traitements mécaniques et biologiques des Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) sur leur comportement bio-physico-chimique en Installation de Stockage de Déchets (ISD)*. Tese de Doutorado - L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Ecole Doctorale de Chimie de Lyon . 219p.

DELVANAI, K.; KASTURI BAI, R. (1995). Batch biomethanation fo banana trash and coir pith. *Fuel and Energy Abstracts*, v. 36, n.5, p. 345-345.

EHRIG, H.J. (1991). Prediction of gas production from laboratory scale tests, In: *Proceedings Sardinia, Third International Landfill Symposium.*, Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. p. 87-114.

EMBERTON, J.R. (1986). The biological and chemical characterization of landfills. In: *Conference of Energy from Landfill Gas*. Oxfordshire, England. Oxfordshire: Harwell Laboratory. p 150-163.

ENSINAS, A. V. (2003.). *Estudo da geração de biogás no Aterro Saniário Delta em Campinas-SP*. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo-SP. 143 p.

ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY. (1999). Interim Internal Technical Guidance for Best Practice Flaring of Landfill Gas. *EPA Project R-806468*. Bristol, UK.

ESPINACE, R.; PALMA, J.H.; VALENZUELA, P. (2007). Aspectos geotécnicos de la co-disposición de lodos y residuos sólidos urbanos. *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, n.94, p. 98-107.

FARIA, F.S. (2002). *Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 401 p.

FERREIRA, M. A. S. (2006). *Aplicação de modelos de avaliação qualitativa e quantitativa dos percolados gerados em um aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 212 p.

FIGUEIREDO, P.J.M. (1995). *A Sociedade do Lixo: os resíduos a questão energética e a crise ambiental*. 2 ed. Piracicaba: Unimep. 240 p.

FIRMO, A.L.B. (2006). *Análise Comportamental de parâmetros físico-químicos e geração de gás numa célula experimental no Aterro da Muribeca-PE*. Monografia Conclusão de Curso – Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 79 p.

FUCHS, A.; ZANGL, H; HOLLER, G; BRASSEUR, G. (2008). Design and analysis of a capacitive moisture sensor for municipal solid waste. *Measurement Science and Technology*, v. 19, p. 025201 (9pp).

GACHET, C. (2005). *Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au centre de stockage de déchets ultimes du SYDOM sous l'effect de la recirculation des lixiviats*. PhD Dissertation. LAEPSI Laboratory, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 271 p.

GAWANDE, N.A.; REINHART, D.R.; THOMAS, P.A; MCCREANOR, P.T.; TOWNSEND, T.G. (2003). Municipal solid waste in situ moisture content measurement using an electrical resistance sensor. *Waste Management*, v.23, n. 7. p. 667-674.

GOMES, C.M.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S.; SAVVAIDIS, I. (1998). Biorremediação de metais por microrganismos. *Revista de Microbiologia*, v. 29, p. 85-92.

GUNASEELAN, V.N. (2004). Biochemical methane potential of fruits and vegetables solid waste feedstocks. *Fuel and Energy Abstracts*, v. 36, n. 5, p. 403-403.

GUNASEELAN, V.N. (2007). Regression models of ultimate methane yields of fruits and vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1270-1277.

GURIJALA, K.R.; SUFLITA, J.M. (1993). Environmental factors influencing methanogenesis from refuse in landfills. *Environmental Science and Technology*, v. 27, p.1176-1195.

HAM, R.K.; NORMAN, M.R.; FRITSCHER, P.R. (1993). Chemical characterization of fresh kills landfills refuse and extracts. *Journal of Environmental Engineering*, n.119, p.1176-1181.

HANSEN, T.L.; SCHMIDT, J.E.; ANGELIDAKI, I.; MARCA, E.; JANSEN, J.C.; MOSBAEK, H.; CHRISTENSEN, T.H. (2004). Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, v.24, p. 393 – 400.

HARRIES C.R.; CROSS C.J.; SMITH R. (2001a). Development of a biochemical methane potential (BMP) test and application to testing of municipal solid waste samples. In: *Proceedings Sardinia, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v. 1, p. 579-588.

HARRIES C.R.; CROSS C.J.; SMITH R. (2001b). Application of biochemical methane potential (BMP) testing to the study of MSW decomposition in a municipal solid waste lysimeter. In : *Proceedings Sardinia, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v. 1, p. 589-598.

HEERENKLAGE, J.; STEGMANN, R. (2005). Analytical methods for the determination of the biological stability of waste samples. In.: *Proceedings Sardinia, Tenth International WasteManagement and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA.

HEISS-ZIEGLER, C., LECHNER, P. (1999): Behaviour of Stabilized Organic Matter Under Anaerobic Landfill Conditions. In.: *Proceedings of Sardinia. Seventh International Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA.v. 1, p. 511-518.

HENRIQUES, R.M. (2004). *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Dissertação de Mestrado - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 189 p.

HICKEY, R.F.; VANDERWIELEN, J.; SWITZENBAUM, M.S. (1989). The effect of Heavy Metals on Methane Production and Hydrogen and Carbon Monoxide Levels during Batch Anaerobic Sludge Digestion. *Water Research*, v.23, p. 207-219.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. (2007). Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 2007 e 2008

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001). *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions – Guideline for National Greenhouse Gas Inventories*. United Nations for Environmental Program, The Organization for Economic Cooperation and Development and The International Energy Agency. London, UK.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (1995). *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE. 278 p.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. (1995). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES. 683 p.

JUCÁ, J.F.T. (2003). Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: 5º *Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO’2003*. Porto Alegre –RS.

JUCÁ, J.F.T.; MACIEL, F.J.; MARIANO, M.O.H.; BRITO, A.R. (2005a). *Relatório Técnico do Estudo de Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro da Muribeca*. Universidade Federal de Pernambuco / Grupo de Resíduos Sólidos, Recife-PE.

JUCÁ, J.F.T.; MARIANO, M.O.H.; ALVES, M.C.M.; MACIEL, F.J.; BRITO, A.R. (2005b). Disponibilidade de biogás em uma célula do aterro de resíduos sólidos da Muribeca. In.: 23º *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG.

JUNQUEIRA, F.F. (2000). *Análise do comportamento de resíduos sólidos urbanos e sistemas dreno-filtrantes em diferentes escalas, com referência ao Aterro do Jóquei Clube Brasília – DF*. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 283 p.

KELLY, J.R. (2002). *Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability*. PhD Thesis - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg-Virginia. 65p.

LEHNINGER, A.L. (1991). *Princípios de Bioquímica*. São Paulo: Editora Sarvier. 725p.

LIFSHITS, A.; SHISHKIN, D. (1995). Gas production from mixtures of sewage sludge and MSW. In: *Proceedings Sardinia, Fifth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v. 1, p. 193-202.

LINS, E.A.M. (2003). *A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no Aterro da Muribeca*. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE. 142p.

LOBATO, A. (2008). Gás de lixo pode produzir 15% da energia do Brasil. *O Estado de São Paulo*. 14 de junho de 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u412371.shtml>>. Acesso em 14 de Junho 2008.

LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; SOUZA, J.T.; PRASAD, S.; ATHAYDE JUNIOR, G.B. (2003). Fatores intervenientes no processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos. In: *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC.

MACASKIE, L.E.; WATES, J.M.; DEAN, A.C.R. (1987). Cadmium accumulation by a *Citrobacter sp*: the chemical nature of the accumulated metal precipitate and its location on the bacterial cells. *Journal of General Microbiology*, v. 133, p. 539-544.

- MACIEL, F.J. (2003). *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE*. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 173p.
- MALIK, A. (2004). Metal Bioremediation through growing cells. *Environment International*, v. 30, p.261-278.
- MANAHAN, S. E. (2005). *Environmental Chemistry*. 8 ed. Boca Raton: CRC Press. 783p.
- MARIANO, M.O.H.; MACIEL, F.J.M.; FUCALE, S.P.; JUCÁ, J.F.T.; BRITO, A.R. (2007). Estudo da composição dos rsu do projeto piloto para recuperação do biogás no Aterro da Muribeca/PE. *VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2007*. Recife, PE.
- MELO, M.C.; MONTEIRO, V.E.D.; NEVES, M.L.; ARAÚJO, J.M.; JUCÁ, J.F.T. (2002). Estudos de toxicidade em aterros de resíduos sólidos urbanos. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, n. 28, p.48-52.
- MELO, M.C. (2003). *Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE. 160p.
- MERBACH JR., P. S. (1989). *Estudos de avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário em função do tempo de disposição*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 83p.
- MESQUITA, L. M. S. (1995). *Remoção de metais pesados de efluentes utilizando biomassas e sua comparação com o processo de extração por solventes*. Rio de Janeiro:CETEM/MCT. 38 p.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. (2008). Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24390.pdf>. Acesso em: 05 de Maio de 2008.
- MONDELLI, G. (2004). *Investigação geoambiental em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos utilizando a tecnologia do piezocone*. Dissertação de Mestrado -

Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 264p.

MONTEIRO, J.H.P. (2001). *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM. 200 p.

MONTEIRO, V.E.D.; MELO, M.C.; JUCÁ, J.F.T. (2002). Biological Degradation Analysis in Muribeca Solid Waste Landfill Associated with Local Climate – Recife, Brazil. *Fourth International Congress on Environmental Geotechnics - 4ISEG*, Rio de Janeiro-RJ.

MOUNTON, C.; BECKELYNCK, J.; ALBAGNAC, G.; DUBOURGUIER, H.C. (1985). Production et recuperation de biogaz produit par les ordures menageres enfouies em decharge. *Techniques, Sciences et Methods - T.S.M.L'Eau*, v.80, n.9, p. 391-404.

MUÑOZ, S.I.S. (2002). *Impacto ambiental na área do Aterro Sanitário de e incinerador de Ribeirão Preto-SP: avaliação dos níveis de metais pesados*. Tese de Doutorado - Depto de Enfermagem e Materno-Infantil e Saúde Pública, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto-SP. 131p.

NEVES, L.; RIBEIRO, R.; OLIVEIRA, R.; ALVES, M.M. (2006). Enhancement of Methane Production from Barley Waste. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n. 6, p. 599-603.

NEVES, L.; GONÇALO, E.; OLIVEIRA, R.; ALVES, M.M. (2008). Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures. *Waste Management*, v. 28, n. 6, p. 965-972.

ODUM, E. P. (1988). *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 434p.

OLIVEIRA, F.J.S. & JUCÁ, J.F.T. (1994). Impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p.211-217.

OLIVIER, F.; GOURC, J.P.; ARCHOUR, F.; MORAIS, J.; BAYARD, R. (2005). Evolution of bio-physical and mechanical characteristics of msw after 2 years

incubation in a laboratory scale bioreactor. *Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy. Cagliari: CISA.

OWEN, W.F.; STUCKEV, D. C.; HEALV, JR. J.B.; YOUNG, L.Y.; McCARTY, P. L. (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research*, v. 13, p. 485-492.

OWENS, J. M.; CHYNOWETH, D. P. (1993). Biochemical Methane Potential of MSW Components. *Water Science and Technology*, v.27, p.1-14.

PAES, R.F.C. (2003). *Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – PE*. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 150 p

PALMISANO, A.C.; BARLAZ, M.A. (1996). *Microbiology of Solid Waste*. New York: CRC Press. 224 p.

PERCORA, V. (2006). *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado - Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 153 p.

PINTO-COELHO, R. M. (2002). *Fundamentos em Ecologia*. Porto Alegre: Artmed. 252p.

POHLAND, F.G; GOULD, J.P. (1986). Fate of Heavy Metal During Landfill Stabilization of Solid Wastes Material with Leachate Recycle. *Draft Final Report*. USA.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. (2008). Prefeito dá início à construção de praças com recursos da venda de créditos de carbono. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a_cidade/noticias/index.php?p=24016>. Acesso em: 04 de Junho de 2008.

PUEBOOBPAPHAN, S. (2006) *Assessment of biodegradability of waste in old landfill*. Master's Dissertation (abstract) - Division of Environment and Resources Engineering, Hokkaido University, Japan. Disponível em: <ws3-

er.eng.hokudai.ac.jp/egpsee/alumni/abstracts/Suthathip.pdf>. Acesso em: 25 de Abril de 2008.

RAPOZO, F.; BANKS, C.J.; SIEGERT, I.; HEAVEN, S.; BORJA, R. (2006). Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests. *Process Biochemistry*, v. 41, n. 6, p.1444-1450.

REINHART, D.R.; TOWNSEND, T.G. (1998). *Landfill Bioreactor Design & Operation*. Boca Raton: Lewis Publishers, 189p.

RICKLEFS, R. E. (2003). *A Economia da Natureza*. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.. 286p.

RIZZO, A.C.L.; LEITE, S.G.F. (2004). *Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes*. Série: Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro:CETEM/MCT. 102p.

SCHUELER, A. S. (2005). *Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 223 p.

SHARMA, S.; DASTIDAR, M.G.; SREEKRISHNAN, T.R. (2003). Biological removal of zinc from wastewater using *Aspergillus spp*. *European Journal Miner Process Environment Protect*, v. 3, n. 1, p. 1-4.

SOUTO, G.D.B.; POVINELLI, J. (2007). Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In.: *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG.

STOLL, A.; DUNCAN, J.R. (1996). Enhanced heavy metal removal from wastewater by viable, glucose pretreated *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biotechnology Letters*, v. 18, n. 10, p.1209-12.

TAKASHIMA, M.; SPEECE, R.E. (1989). Mineral nutrient requirements for high rate methane fermentation of acetate at low SRT. *Research Journal of Water Pollution Control*, v. 61, p. 1645-1650.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEIN, H., VIGIL, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York :Mcgraw-Hill. 975p.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L., (2000). *Microbiologia*. 6.ed. Porto Alegre: Editora Artimed. 827p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1991), *Greenhouse gases and Global Warming Potential values*, U.S Greenhouse Gas Inventory Program, Office of Atmospheric Programs, Washington, USA.

VANZIN, E. (2006). *Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários par geração de energia elétrica: aplicação no Aterro Santa Tecla*. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS. 93p.

VAZOLLER, R.F.; GOMES, L.P.; BALDOCHI, V.M.Z; VILLAS-BÔAS, D.M.F.; BADRA, R.J.; POVINELLI, J. (2001). Biodegradability potential of two experimental landfills in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 32, n. 2, p. 87-92.

VIGNERON, V.; MAZEAS, L.; BARINA, G.; AUDIC, J.M. VASEL, J.L.; BERNET, N.; BOUCHEZ, T. (2005). Anaerobic digestion of municipal solid waste: a mass balance analysis. *In.: Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposion*. Caligari, Italy. Caligari:CISA.

VILLAS BÔAS, D.M.F. (1990). *Estudo da microbiota anaeróbia hidrolítica-fermentativa em aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos – SP. 156 p.

WANG, Y, S.; BYRD, C.S.; BARLAZ, M.A. (1994). Anaerobic biodegradability of cellulose and hemicellulose in excavated refuse samples using a biochemical methane potential assay. *Journal of Industrial Microbiology*, v. 13, p. 147-153.

WANG, Y, S.; ODLE, W.S.; ELEAZER, W.E.; BARLAZ, M.A. (1997). Methane potential of food waste and anaerobic toxicity of leachate produced during food waste decomposition. *Waste Management & Research*, v. 15, p. 149-167.

WASTE COMPOSITION ANALYSIS – GUIDANCE FOR LOCAL AUTHORITIES (2004). Department for Environment, Food and Rural Affairs – DEFRA, UK.

WIKIPEDIA – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Elemento_qu%C3%ADmico_essencial>. Acesso em: 28 de Janeiro de 2007.

_____. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro>>. Acesso em: 28 de Janeiro de 2007.

_____. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mangan%C3%AAs>>. Acesso em: 28 de Janeiro de 2007.

_____. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>>. Acesso em: 28 de Janeiro de 2007.

WUJCIK, W.J.; JEWELL, W.J. (1980). Dry anaerobic fermentation. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, n. 10, p. 43-65.

YUEN; S. T. S.; MCMAHON; T. A.; STYLES, J. R. (2000). Monitoring in situ moisture content of municipal solid waste landfills. *Journal of Environmental Engineering*, v. 126, n. 12, p. 1088-1095.

ZALUSKI, M.H.; JOHN, M.T.; CANTY, M.C.; BAKER, M.A. (2001). Field performance of engineered SRB reactors for removing heavy metals. In.: *International Containment and Remediation Technology Conference and Exhibition*. Orlando, Flórida.

ZANTA, V. M., FERREIRA, C. F. A. (2003). Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Coord.). *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 294 p.

ZAYED, G.; WINTER, J. (2000). Inhibition of methane production from whey by heavy metals-protective effect of sulfide. *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 53, p. 726-731.

ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE I – Planilhas Utilizadas nos Ensaios BMP.....	96
a) Planilhas do Ensaio BMP com Zn e Mn.....	96
b) Planilhas do Ensaio BMP com Fe.....	104
c) Planilhas do Ensaio BMP com Lixos de Diferentes Idades.....	109
APÊNDICE II – Planilhas Utilizadas no Ensaio com Biorreatores.....	113
ANEXO I – Metodologia para Determinação de Substâncias Orgânicas.....	117

APÊNDICE I: Planilhas utilizadas nos Ensaios BMP

a) Planilhas do Ensaio BMP com Zn e Mn

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Digite uma pergunta

Arial 10

Ensaio dos fracos (BMP)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Ensaio dos fracos (BMP)			250,0 ml											
Volume líquido no frasco			12,5 ml											
Volume útil do frasco (litro)			0,2375 litros											
										Produção biogás		Cálculo - Taxa geração (ml/dia)		
Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
20/jul		0										0	0	0
21/jul	16:20	1	0,04	0,04	39,23	1013,55	34,7	307,85	8,16	8,16	9,25	9,25	9,25	9,25
22/jul	17:00	2	0,07	0,03	29,42	1012,40	30,5	303,65	6,20	14,36	7,12	16,48	8,24	7,12
23/jul	17:00	3	0,10	0,03	29,42	1012,40	36,8	309,95	6,08	20,44	6,83	22,98	7,66	6,83
24/jul	15:30	4	0,10	0	0,00	1013,45	38,5	311,65	0,00	20,44	0,00	22,88	5,72	0,00
25/jul	15:00	5	0,10	-0,005	-4,90	1012,90	36,9	310,05	-1,01	19,42	-1,14	21,85	4,37	-1,14
26/jul	17:00	6	0,10	0,005	4,90	1014,65	31,1	304,25	1,03	20,45	1,18	23,49	3,91	1,18
27/jul	13:30	7	0,15	0,05	49,03	1014,25	34,8	307,95	10,19	30,65	11,56	34,76	4,97	11,56
28/jul	20:00	8	0,15	-0,005	-4,90	979,15	33,0	306,15	-1,03	29,62	-1,13	32,57	4,07	-1,13
29/jul	13:50	9	0,15	0	0,00	1013,8	34,4	307,55	0,00	29,62	0,00	33,62	3,74	0,00
31/jul	19:00	11	0,11	-0,035	-34,32	1014,4	35	308,15	-7,13	22,49	-8,08	25,50	2,32	-4,04
1/ago	16:10	12	0,13	0,015	14,71	1013,5	34,2	307,35	3,06	25,56	3,48	29,02	2,42	3,48
2/ago	16:00	13	0,13	0	0,00	1014,5	32	305,15	0,00	25,56	0,00	29,26	2,25	0,00
		13	0,04	Alívio								28,01	2,25	
3/ago	15:30	14	0,08	0,035	34,32	1014,65	36,3	309,45	7,10	32,66	8,02	36,87	2,63	8,02
5/ago	10:30	16	0,03	-0,045	-44,13	1016,8	32	305,15	-9,26	23,40	-10,62	26,85	1,68	-5,31
6/ago	15:00	17	0,03	0	0,00	1014,3	33,3	306,45	0,00	23,40	0,00	26,67	1,57	0,00
7/ago	15:10	18	0,03	0	0,00	1014,55	34,4	307,55	0,00	23,40	0,00	26,58	1,48	0,00
8/ago	17:00	19	0,04	0,01	9,81	1015,1	33,7	306,85	2,05	25,44	2,33	28,99	1,53	2,33
10/ago	15:00	21	0,06	0,015	14,71	1013,9	35,2	308,35	3,05	28,50	3,46	32,27	1,54	1,73
13/ago	18:00	24	0,04	-0,015	-14,71	1015,05	34	307,15	-3,07	25,43	-3,49	28,94	1,21	-1,16
15/ago	17:30	26	0,03	-0,01	-9,81	1014,8	34	307,15	-2,04	23,39	-2,33	26,61	1,02	-1,16
16/ago	15:00	27	0,05	0,015	14,71	1014,1	34	307,15	3,07	26,45	3,49	30,08	1,11	3,49
17/ago	14:00	28	0,04	-0,005	-4,90	1013,25	33,5	306,65	-1,02	25,43	-1,16	28,93	1,03	-1,16
		28	0,00	Alívio								27,72	1,03	
20/ago	14:00	31	0,06	0,06	58,84	1014,55	35	308,15	12,22	37,65	13,86	42,69	1,38	4,62
21/ago	15:00	32	0,07	0,005	4,90	1014,75	37	310,15	1,01	38,67	1,14	43,56	1,36	1,14
22/ago	15:00	33	0,07	0,005	4,90	1013,45	37	310,15	1,01	39,68	1,14	44,64	1,35	1,14
23/ago	14:30	34	0,07	-0,005	-4,90	1012,95	36	309,15	-1,02	38,66	-1,15	43,62	1,28	-1,15
24/ago	14:00	35	0,06	-0,01	-9,81	1012,15	35	308,15	-2,04	36,63	-2,30	41,42	1,18	-2,30
27/ago	17:00	38	0,06	0	0,00	1013,45	36	309,15	0,00	36,63	0,00	41,34	1,09	0,00
29/ago	14:20	40	0,06	0	0,00	1014,95	37	310,15	0,00	36,63	0,00	41,27	1,03	0,00
30/ago	14:00	41	0,04	-0,015	-14,71	1015,6	37	310,15	-3,04	33,59	-3,42	37,88	0,92	-3,42
		41	0,00	Alívio								36,69	0,92	
31/ago	13:00	42	0,03	0,03	24,52	1016,8	36,5	309,65	5,07	38,66	5,73	43,72	1,04	5,73
3/set	14:30	45	0,05	0,02	19,61	1015,95	36,5	309,65	4,05	42,71	4,58	48,26	1,07	1,53
5/set	14:20	47	0,05	0	0,00	1016	36	309,15	0,00	42,71	0,00	48,34	1,03	0,00
6/set	13:30	48	0,03	-0,02	-19,61	1015,8	34,5	307,65	-4,08	38,63	-4,64	43,92	0,92	-4,64
10/set	14:30	52	0,06	0,035	34,32	1013,95	37,5	310,65	7,07	45,71	7,95	51,37	0,99	1,99
11/set	16:20	53	0,04	-0,025	-24,52	1013,9	34,5	307,65	-5,10	40,60	-5,79	46,08	0,87	-5,79
17/set	16:30	59	0,05	0,015	14,71	1012,4	36,5	309,65	3,04	43,64	3,42	49,13	0,83	0,57
18/set	13:00	60	0,04	-0,015	-14,71	1015,2	35,1	308,25	-3,05	40,59	-3,46	46,03	0,77	-3,46
		60	0,00	Alívio								41,43	0,77	
19/set	16:30	61	0,02	0,02	19,61	1014,25	32,9	306,05	4,10	44,69	4,68	51,00	0,84	4,68
20/set	15:30	62	0,04	0,02	19,61	1012,95	38	311,15	4,04	48,73	4,52	54,62	0,88	4,52

Lixo_media / Lodo_media / Lixo.Lodo_media / Lixo.Lodo.25ml / Zn.3mg / Zn.7mg / Mn.

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Digite uma pergunta															
Arial 10															
N61															
f _x															
Ensaio dos fracos (BMP)															
Volume frasco		250,0 ml													
Volume líquido no frasco		50,0 ml													
Volume útil do frasco (litro)		0,2000 litros													
Produção biogás															
Cálculo - Taxa geração (ml/dia)															
Data		hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
20/jul			0									0	0	0	0
21/jul		16:20	1	0,10	0,1	98,07	1013,55	34,90	308,05	17,16	17,16	19,44	19,44	19,44	19,44
22/jul		17:00	2	0,11	0,01	9,81	1012,40	30,80	303,95	1,74	18,90	1,99	21,68	10,84	1,99
23/jul		17:00	3	0,14	0,025	24,52	1012,40	38,70	311,85	4,24	23,14	4,74	25,86	8,62	4,74
24/jul		15:30	4	0,12	-0,015	-14,71	1013,45	38,00	311,15	-2,55	20,59	-2,86	23,09	5,77	-2,86
25/jul		15:00	5	0,13	0,01	9,81	1012,90	37,30	310,45	1,70	22,29	1,91	25,04	5,01	1,91
26/jul		17:00	6	0,13	-0,005	-4,90	1014,65	31,4	304,55	-0,87	21,43	-1,00	24,58	4,10	-1,00
27/jul		13:30	7	0,13	0	0,00	1014,25	35	308,15	0,00	21,43	0,00	24,28	3,47	0,00
28/jul		20:00	8	0,11	-0,015	-14,71	979,15	31	304,15	-2,61	18,82	-2,89	20,83	2,60	-2,89
29/jul		13:50	9	0,11	0	0,00	1013,8	34,3	307,45	0,00	18,82	0,00	21,37	2,37	0,00
31/jul		19:00	11	0,13	0,02	19,61	1014,4	34,3	307,45	3,44	22,26	3,91	25,29	2,30	1,95
1/ago		16:10	12	0,14	0,005	4,90	1013,5	34	307,15	0,86	23,12	0,98	26,27	2,19	0,98
2/ago		16:00	13	0,15	0,01	9,81	1014,5	31,5	304,65	1,74	24,85	1,99	28,50	2,19	1,99
			13	0,04	Alívio								33,25	2,19	
3/ago		15:30	14	0,06	0,015	14,71	1014,65	36	309,15	2,57	27,42	2,90	30,99	2,21	2,90
5/ago		10:30	16	0,00	-0,055	-53,94	1016,8	30,3	303,45	-9,58	17,84	-11,06	20,58	1,29	-5,53
6/ago		15:00	17	0,03	0,025	24,52	1014,3	32,3	305,45	4,33	22,16	4,95	25,34	1,49	4,95
7/ago		15:10	18	0,04	0,01	9,81	1014,55	34,2	307,35	1,72	23,88	1,96	27,15	1,51	1,96
8/ago		17:00	19	0,05	0,015	14,71	1015,1	32,8	305,95	2,59	26,47	2,96	30,25	1,59	2,96
10/ago		15:00	21	0,06	0,01	9,81	1013,9	35,1	308,25	1,72	28,19	1,94	31,93	1,52	0,97
13/ago		18:00	24	0,08	0,015	14,71	1015,05	34	307,15	2,58	30,77	2,94	35,02	1,46	0,98
15/ago		17:30	26	0,10	0,02	19,61	1014,8	33,5	306,65	3,45	34,22	3,93	38,99	1,50	1,96
16/ago		15:00	27	0,12	0,025	24,52	1014,1	34	307,15	4,30	38,52	4,89	43,80	1,62	4,89
17/ago		14:00	28	0,14	0,015	14,71	1013,25	35	308,15	2,57	41,10	2,91	46,53	1,66	2,91
			28	0,01	Alívio								54,14	1,66	
20/ago		14:00	31	0,10	0,09	88,26	1014,55	35	308,15	15,44	56,54	17,50	64,10	2,07	5,83
21/ago		15:00	32	0,12	0,02	19,61	1014,75	37	310,15	3,41	59,95	3,84	67,54	2,11	3,84
22/ago		15:00	33	0,11	-0,01	-9,81	1013,45	36,5	309,65	-1,71	58,24	-1,92	65,63	1,99	-1,92
23/ago		14:30	34	0,13	0,015	14,71	1012,95	36,5	309,65	2,56	60,80	2,88	68,48	2,01	2,88
24/ago		14:00	35	0,14	0,01	9,81	1012,15	35,5	308,65	1,71	62,51	1,93	70,58	2,02	1,93
27/ago		17:00	38	0,17	0,035	34,32	1013,45	36,5	309,65	5,98	68,49	6,73	77,18	2,03	2,24
29/ago		14:20	40	0,19	0,02	19,61	1014,95	36	309,15	3,42	71,91	3,87	81,29	2,03	1,93
30/ago		14:00	41	0,16	-0,03	-29,42	1015,6	36,5	309,65	-5,12	66,79	-5,78	75,43	1,84	-5,78
			41	0,01	Alívio								81,06	1,84	
31/ago		13:00	42	0,08	0,07	63,74	1016,8	36	309,15	11,12	77,90	12,59	88,23	2,10	12,59
3/set		14:30	45	0,10	0,025	24,52	1015,95	37	310,15	4,26	82,16	4,81	92,68	2,06	1,60
5/set		14:20	47	0,10	0	0,00	1016	37	310,15	0,00	82,16	0,00	92,68	1,97	0,00
6/set		13:30	48	0,08	-0,025	-24,52	1015,8	34	307,15	-4,30	77,86	-4,90	88,67	1,85	-4,90
10/set		14:30	52	0,14	0,06	58,84	1013,95	37,5	310,65	10,21	88,07	11,48	98,98	1,90	2,87
11/set		16:20	53	0,11	-0,025	-24,52	1013,9	35	308,15	-4,29	83,78	-4,86	94,92	1,79	-4,86
17/set		16:30	59	0,13	0,02	19,61	1012,4	36	309,15	3,42	87,20	3,86	98,32	1,67	0,64
18/set		13:00	60	0,12	-0,015	-14,71	1015,2	34,6	307,75	-2,58	84,62	-2,93	96,13	1,60	-2,93
			60	0,02	Alívio								102,77	1,60	
19/set		16:30	61	0,03	0,01	9,81	1014,25	32,9	306,05	1,73	86,35	1,97	98,54	1,62	1,97
20/set		15:30	62	0,05	0,02	19,61	1012,95	36,8	309,95	3,41	89,76	3,84	101,01	1,63	3,84

Lixo_media Lodo_media Lixo.Lodo_media Lixo.Lodo.25ml Zn.3mg Zn.7mg Mn.

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela														
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda														
A1 Ensaio dos fracos (BMP)														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Ensaio dos fracos (BMP)													
2	Volume frasco	250,0	ml											
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml											
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros											
5														
6														
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/fcm2)	Diferença de Pressão (Kg/fcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás	Condições CNTP	Condições CNTP	Cálculo - Taxa geração (ml/dia)
8											Acumulado (ml)	gerado (ml)	Acumulado (ml)	Método 1
9	20/jul	16:20	0											
10	21/jul	17:00	1	0,11	0,11	107,87	1013,55	31,8	304,95	17,88	17,88	20,46	20,46	20,46
11	22/jul	17:00	2	0,24	0,13	127,48	1012,4	31	304,15	21,18	39,06	24,28	44,77	22,38
12	23/jul	17:00	3	0,26	0,02	19,61	1012,4	38,3	311,45	3,18	42,24	3,56	47,28	15,76
13	24/jul	15:30	4	0,29	0,03	29,42	1013,45	39	312,15	4,76	47,01	5,32	52,55	13,14
14	25/jul	15:00	5	0,33	0,04	39,23	1012,9	38,2	311,35	6,37	53,37	7,13	59,79	11,96
15	26/jul	17:00	6	0,32	-0,015	-14,71	1014,65	31,8	304,95	-2,44	50,94	-2,79	58,36	9,73
16	27/jul	13:30	7	0,31	-0,01	-9,81	1014,25	35,2	308,35	-1,61	49,33	-1,82	55,87	7,98
17	28/jul	20:00	8	0,39	0,08	78,45	979,15	31,3	304,45	13,02	62,35	14,40	68,94	8,62
18	29/jul	13:50	9	0,39	0,005	4,90	1013,8	34,5	307,65	0,81	63,16	0,91	71,66	7,96
19	31/jul	19:00	11	0,50	0,105	102,37	1014,4	34,6	307,75	16,31	80,07	19,19	90,88	8,26
20	1/ago	16:10	12	0,51	0,01	9,81	1013,5	34	307,15	1,61	81,68	1,83	92,80	7,73
21	2/ago	16:00	13	0,51	0	0,00	1014,5	31,6	304,75	0,00	81,68	0,00	93,63	7,20
22	3/ago	15:30	14	0,05	Alívio							100,26	7,20	
23	5/ago	10:30	16	0,17	0,06	58,84	1014,65	37,1	310,25	9,58	91,27	10,79	102,78	7,34
24	6/ago	15:00	17	0,20	0,025	63,74	1016,8	32,7	305,85	10,53	101,80	12,06	116,55	7,28
25	7/ago	15:10	18	0,21	0,015	24,52	1014,3	33,3	306,45	4,04	105,84	4,61	120,63	7,10
26	8/ago	17:00	19	0,24	0,03	14,71	1014,55	34,5	307,65	2,42	108,26	2,74	122,93	6,83
27	10/ago	15:00	21	0,28	0,035	29,42	1015,1	34,1	307,25	4,84	113,10	5,51	128,67	6,77
28	13/ago	18:00	24	0,28	0,005	34,32	1013,9	35,3	308,45	5,62	118,72	6,37	134,37	6,40
29	15/ago	17:30	26	0,29	0,01	4,90	1015,05	35	308,15	0,80	119,53	0,91	135,58	5,65
30	16/ago	15:00	27	0,31	0,015	9,81	1014,8	35	308,15	1,61	121,13	1,82	137,37	5,28
31	17/ago	14:00	28	0,33	0,02	14,71	1014,1	33,5	306,65	2,42	123,56	2,76	140,70	5,21
32			28	0,02	Alívio	19,61	1013,25	35,5	308,65	3,21	126,77	3,63	143,30	5,12
33	20/ago	14:00	31	0,11	0,09	88,26	1014,55	35	308,15	14,48	141,25	16,41	160,13	5,17
34	21/ago	15:00	32	0,16	0,045	44,13	1014,75	37,5	310,65	7,18	148,43	8,08	166,95	5,22
35	22/ago	15:00	33	0,18	0,02	19,61	1013,45	37	310,15	3,20	151,62	3,60	170,59	5,17
36	23/ago	14:30	34	0,19	0,01	9,81	1012,95	37	310,15	1,60	153,22	1,80	172,30	5,07
37	24/ago	14:00	35	0,19	0	0,00	1012,15	35,5	308,65	0,00	153,22	0,00	173,00	4,94
38	27/ago	17:00	38	0,21	0,025	24,52	1013,45	38	311,15	3,98	157,20	4,47	176,30	4,64
39	29/ago	14:20	40	0,26	0,045	44,13	1014,95	37,5	310,65	7,18	164,38	8,08	184,94	4,62
40	30/ago	14:00	41	0,22	-0,035	-34,32	1015,6	37	310,15	-5,59	158,79	-6,31	179,05	4,37
41			41	0,02	Alívio								185,42	4,37
42	31/ago	13:00	42	0,10	0,08	73,55	1016,8	36	309,15	12,02	170,81	13,62	193,47	4,61
43	31/set	14:30	45	0,13	0,035	34,32	1015,95	36	309,15	5,61	176,42	6,35	199,65	4,44
44	5/set	14:20	47	0,15	0,015	14,71	1016	37	310,15	2,40	178,82	2,70	201,72	4,29
45	6/set	13:30	48	0,12	-0,025	-24,52	1015,8	34	307,15	-4,03	174,79	-4,59	199,06	4,15
46	10/set	14:30	52	0,21	0,09	88,26	1013,95	38	311,15	14,34	189,12	16,09	212,21	4,08
47	11/set	16:20	53	0,17	-0,04	-39,23	1013,9	34,5	307,65	-6,44	182,68	-7,31	207,30	3,91
48	17/set	16:30	59	0,20	0,025	24,52	1012,4	36,5	309,65	4,00	186,68	4,50	210,15	3,56
49	18/set	13:00	60	0,18	-0,015	-14,71	1015,2	34,8	307,95	-2,41	184,26	-2,74	209,18	3,49
50			60	0,02	Alívio								225,14	3,49
51	19/set	16:30	61	0,10	0,08	78,45	1014,25	33	306,15	12,95	197,22	14,77	224,98	3,69
52	20/set	15:30	62	0,12	0,015	14,71	1012,95	35,5	308,65	2,41	199,62	2,72	225,58	3,64

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Digite uma pergunta															
Arial 10															
N61															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	37,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,2125	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás Acumulado (ml)	Condições CNTFC gerado (ml)	Condições CNTFC Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 2
8	20/jul		0												
9	21/jul	16:20	1	0,02	0,02	19,61	1013,55	36,8	309,95	3,62	3,62	4,08	4,08	4,08	4,08
10	22/jul	17:00	2	0,10	0,08	78,45	1012,4	30,8	303,95	14,78	18,41	16,95	21,11	10,56	16,95
11	23/jul	17:00	3	0,12	0,02	19,61	1012,4	39,3	312,45	3,60	22,00	4,01	24,55	8,18	4,01
12	24/jul	15:30	4	0,20	0,08	78,45	1013,45	37,7	310,85	14,46	36,46	16,23	40,93	10,23	16,23
13	25/jul	15:00	5	0,21	0,01	9,81	1012,9	37,5	310,65	1,81	38,27	2,03	42,96	8,59	2,03
14	26/jul	17:00	6	0,22	0,01	9,81	1014,65	31,0	304,15	1,85	40,11	2,12	46,08	7,68	2,12
15	27/jul	13:30	7	0,24	0,02	19,61	1014,25	35,1	308,25	3,64	43,76	4,13	49,58	7,08	4,13
16	28/jul	20:00	8	0,22	-0,02	-19,61	979,15	31	304,15	-3,69	40,07	-4,09	44,34	5,54	-4,09
17	29/jul	13:50	9	0,22	0	0,00	1013,8	34,6	307,75	0,00	40,07	0,00	45,45	5,05	0,00
18	31/jul	19:00	11	0,24	0,02	19,61	1014,4	35,2	308,35	3,64	43,71	4,13	49,51	4,50	2,06
19	1/ago	16:10	12	0,26	0,02	19,61	1013,5	33,8	306,95	3,66	47,37	4,16	53,85	4,49	4,16
20	2/ago	16:00	13	0,27	0,01	9,81	1014,5	31,7	304,85	1,84	49,21	2,11	56,39	4,34	2,11
21			13	0,04	Alívio								56,39	4,34	
22	3/ago	15:30	14	0,07	0,03	29,42	1014,65	35,9	309,05	5,45	54,66	6,16	61,80	4,41	6,16
23	5/ago	10:30	16	0,05	-0,02	-19,61	1016,8	30,2	303,35	-3,70	50,96	-4,27	58,82	3,68	-2,14
24	6/ago	15:00	17	0,07	0,02	19,61	1014,3	34,8	307,95	3,65	54,61	4,14	61,93	3,64	4,14
25	7/ago	15:10	18	0,07	0	0,00	1014,55	34,6	307,75	0,00	54,61	0,00	61,93	3,44	0,00
26	8/ago	17:00	19	0,08	0,01	9,81	1015,1	33	306,15	1,83	56,44	2,09	64,44	3,39	2,09
27	10/ago	15:00	21	0,08	0	0,00	1013,9	35,2	308,35	0,00	56,44	0,00	63,91	3,04	0,00
28	13/ago	18:00	24	0,08	0	0,00	1015,05	34	307,15	0,00	56,44	0,00	64,23	2,68	0,00
29	15/ago	17:30	26	0,1	0,02	19,61	1014,8	34	307,15	3,66	60,10	4,16	68,38	2,63	2,08
30	16/ago	15:00	27	0,12	0,02	19,61	1014,1	33,5	306,65	3,66	63,76	4,17	72,61	2,69	4,17
31	17/ago	14:00	28	0,14	0,02	19,61	1013,25	36	309,15	3,63	67,40	4,10	76,06	2,72	4,10
32			28	0,00	Alívio								76,06	2,72	
33	20/ago	14:00	31	0,15	0,15	147,10	1014,55	36,5	309,65	27,21	94,61	30,70	106,74	3,44	10,23
34	21/ago	15:00	32	0,2	0,05	49,03	1014,75	37	310,15	9,06	103,66	10,20	116,79	3,65	10,20
35	22/ago	15:00	33	0,23	0,03	29,42	1013,45	37	310,15	5,43	109,10	6,11	122,75	3,72	6,11
36	23/ago	14:30	34	0,26	0,03	29,42	1012,95	36,5	309,65	5,44	114,54	6,13	129,01	3,79	6,13
37	24/ago	14:00	35	0,27	0,01	9,81	1012,15	36	309,15	1,82	116,36	2,05	131,16	3,75	2,05
38	27/ago	17:00	38	0,3	0,03	29,42	1013,45	38	311,15	5,42	121,77	6,07	136,57	3,59	2,02
39	29/ago	14:20	40	0,33	0,03	29,42	1014,95	37	310,15	5,43	127,20	6,12	143,34	3,58	3,06
40	30/ago	14:00	41	0,32	-0,01	-9,81	1015,6	36,5	309,65	-1,81	125,39	-2,05	141,62	3,45	-2,05
41			41	0,02	Alívio								141,62		
42	31/ago	13:00	42	0,07	0,05	49,03	1016,8	36,5	309,65	9,07	134,46	10,26	152,05	3,62	10,26
43	31/set	14:30	45	0,09	0,02	19,61	1015,95	37,5	310,65	3,62	138,08	4,07	155,50	3,46	1,36
44	5/set	14:20	47	0,11	0,02	19,61	1016	38,5	311,65	3,60	141,68	4,05	159,06	3,38	2,02
45	6/set	13:30	48	0,1	-0,01	-9,81	1015,8	35	308,15	-1,82	139,86	-2,07	158,76	3,31	-2,07
46	10/set	14:30	52	0,19	0,09	88,26	1013,95	38,5	311,65	16,22	156,08	18,17	174,85	3,36	4,54
47	11/set	16:20	53	0,16	-0,03	-29,42	1013,9	35	308,15	-5,47	150,61	-6,20	170,63	3,22	-6,20
48	17/set	16:30	59	0,19	0,03	29,42	1012,4	37	310,15	5,43	156,04	6,11	175,38	2,97	1,02
49	18/set	13:00	60	0,18	-0,01	-9,81	1015,2	34,3	307,45	-1,83	154,22	-2,08	175,35	2,92	-2,08
50			60	0,02	Alívio								175,35	2,92	
51	19/set	16:30	61	0,04	0,02	19,61	1014,25	32,8	305,95	3,67	157,89	4,19	180,23	2,95	4,19

Lixo_media / Lodo_media / Lixo.Lodo_media / Lixo.Lodo.25ml / Zn.3mg / Zn.7mg / Mn.

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Ensaio dos fracos (BMP)															
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/Hcm2)	Diferença de Pressão (Kg/Hcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Método 2
8	20/jul		0											0	0
9	21/jul	16:20	1	0,14	0,14	137,29	1013,55	35	308,15	22,52	22,52	25,50	25,50	25,50	25,50
10	22/jul	17:00	2	0,24	0,1	98,07	1012,4	30,5	303,65	16,32	38,84	18,74	44,59	22,29	18,74
11	23/jul	17:00	3	0,26	0,02	19,61	1012,4	39,7	312,85	3,17	42,01	3,53	46,80	15,60	3,53
12	24/jul	15:30	4	0,26	0	0,00	1013,45	36,9	310,05	0,00	42,01	0,00	47,28	11,82	0,00
13	25/jul	15:00	5	0,27	0,01	9,81	1012,9	39	312,15	1,59	43,60	1,77	48,71	9,74	1,77
14	26/jul	17:00	6	0,28	0,01	9,81	1014,65	32,5	305,65	1,62	45,22	1,85	51,69	8,61	1,85
15	27/jul	13:30	7	0,30	0,02	19,61	1014,25	35,6	308,75	3,21	48,43	3,63	54,78	7,83	3,63
16	28/jul	20:00	8	0,28	-0,02	-19,61	979,15	30,8	303,95	-3,26	45,17	-3,61	50,02	6,25	-3,61
17	29/jul	13:50	9	0,31	0,03	29,42	1013,8	36,1	309,25	4,81	49,97	5,43	56,41	6,27	5,43
18	31/jul	19:00	11	0,42	0,11	107,87	1014,4	36,5	309,65	17,61	67,58	19,86	76,23	6,93	9,93
19	1/ago	16:10	12	0,49	0,07	68,65	1013,5	35,7	308,85	11,23	78,81	12,69	89,05	7,42	12,69
20	2/ago	16:00	13	0,53	0,04	39,23	1014,5	33,8	306,95	6,46	85,27	7,35	97,05	7,47	7,35
21			13	0,04	Alívio								97,05	7,47	
22	3/ago	15:30	14	0,16	0,12	117,68	1014,65	38,5	311,65	19,08	104,36	21,39	116,99	8,36	21,39
23	5/ago	10:30	16	0,14	-0,02	-19,61	1016,8	32,2	305,35	-3,25	101,11	-3,72	115,95	7,25	-1,86
24	6/ago	15:00	17	0,18	0,04	39,23	1014,3	36,1	309,25	6,41	107,52	7,24	121,43	7,14	7,24
25	7/ago	15:10	18	0,18	0	0,00	1014,55	35,2	308,35	0,00	107,52	0,00	121,82	6,77	0,00
26	8/ago	17:00	19	0,22	0,04	39,23	1015,1	33	306,15	6,48	114,00	7,39	130,15	6,85	7,39
27	10/ago	15:00	21	0,28	0,06	58,84	1013,9	34,8	307,95	9,66	123,65	10,95	140,18	6,68	5,47
28	13/ago	18:00	24	0,31	0,03	29,42	1015,05	34	307,15	4,84	128,49	5,51	146,22	6,09	1,84
29	15/ago	17:30	26	0,33	0,02	19,61	1014,8	33,5	306,65	3,23	131,73	3,68	150,11	5,77	1,84
30	16/ago	15:00	27	0,33	0	0,00	1014,1	33,5	306,65	0,00	131,73	0,00	150,00	5,56	0,00
31	17/ago	14:00	28	0,34	0,01	9,81	1013,25	34	307,15	1,61	133,34	1,83	151,46	5,41	1,83
32			28	0,02	Alívio								151,46	5,41	
33	20/ago	14:00	31	0,12	0,10	98,07	1014,55	35	308,15	16,08	149,42	18,23	169,40	5,46	6,08
34	21/ago	15:00	32	0,16	0,04	39,23	1014,75	36,5	309,65	6,40	155,82	7,22	175,84	5,49	7,22
35	22/ago	15:00	33	0,18	0,02	19,61	1013,45	37,5	310,65	3,19	159,02	3,58	178,62	5,41	3,58
36	23/ago	14:30	34	0,18	0	0,00	1012,95	36	309,15	0,00	159,02	0,00	179,40	5,28	0,00
37	24/ago	14:00	35	0,18	0	0,00	1012,15	35	308,15	0,00	159,02	0,00	179,83	5,14	0,00
38	27/ago	17:00	38	0,2	0,02	19,61	1013,45	37,5	310,65	3,19	162,21	3,58	182,21	4,79	1,19
39	29/ago	14:20	40	0,23	0,03	29,42	1014,95	38	311,15	4,78	166,99	5,37	187,56	4,69	2,68
40	30/ago	14:00	41	0,22	-0,01	-9,81	1015,6	36	309,15	-1,60	165,38	-1,81	187,09	4,56	-1,81
41			41	0,02	Alívio								187,09	4,56	
42	31/ago	13:00	42	0,09	0,07	68,65	1016,8	36,5	309,65	11,20	176,59	12,67	199,69	4,75	12,67
43	3/set	14:30	45	0,12	0,03	29,42	1015,95	37	310,15	4,79	181,38	5,41	204,60	4,55	1,80
44	5/set	14:20	47	0,14	0,02	19,61	1016	35,5	308,65	3,21	184,59	3,64	209,24	4,45	1,82
45	6/set	13:30	48	0,12	-0,02	-19,61	1015,8	34	307,15	-3,23	181,36	-3,68	206,55	4,30	-3,68
46	10/set	14:30	52	0,18	0,06	58,84	1013,95	39	312,15	9,53	190,89	10,66	213,51	4,11	2,66
47	11/set	16:20	53	0,15	-0,03	-29,42	1013,9	35,5	308,65	-4,82	186,07	-5,45	210,47	3,97	-5,45
48	17/set	16:30	59	0,18	0,03	29,42	1012,4	37	310,15	4,79	190,87	5,39	214,52	3,64	0,90
49	18/set	13:00	60	0,17	-0,01	-9,81	1015,2	34,8	307,95	-1,61	189,26	-1,83	214,85	3,58	-1,83
50			60	0,02	Alívio								214,85	3,58	
51	19/set	16:30	61	0,06	0,04	39,23	1014,25	32,4	305,55	6,49	195,75	7,42	223,74	3,67	7,42

Lixo_media / Lodo_media / Lixo.Lodo_media / Lixo.Lodo.25ml / Zn.3mg / Zn.7mg / Mn.

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/Hcm2)	Diferença de Pressão (Kg/Hcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Método 2
8	20/jul		0												
9	21/jul	16:20	1	0,16	0,16	156,90	1013,55	35,4	308,55	25,70	25,70	29,07	29,07	29,07	29,07
10	22/jul	17:00	2	0,26	0,1	98,07	1012,4	33,1	306,25	16,18	41,88	18,42	47,67	23,84	18,42
11	23/jul	17:00	3	0,26	0	0,00	1012,4	33,8	312,95	0,00	41,88	0,00	46,65	15,55	0,00
12	24/jul	15:30	4	0,28	0,02	19,61	1013,45	38,3	311,45	3,18	45,07	3,57	50,49	12,62	3,57
13	25/jul	15:00	5	0,28	0	0,00	1012,9	39,8	312,95	0,00	45,07	0,00	50,22	10,04	0,00
14	26/jul	17:00	6	0,30	0,02	19,61	1014,65	32,4	305,55	3,24	48,31	3,71	55,24	9,21	3,71
15	27/jul	13:30	7	0,30	0	0,00	1014,25	37,4	310,55	0,00	48,31	0,00	54,33	7,76	0,00
16	28/jul	20:00	8	0,3	0	0,00	979,15	30,8	303,95	0,00	48,31	0,00	53,51	6,69	0,00
17	29/jul	13:50	9	0,33	0,03	29,42	1013,8	35,1	308,25	4,82	53,13	5,46	60,17	6,69	5,46
18	31/jul	19:00	11	0,47	0,14	137,29	1014,4	36,5	309,65	22,41	75,54	25,28	85,21	7,75	12,64
19	1/ago	16:10	12	0,53	0,06	58,84	1013,5	37	310,15	9,59	85,13	10,79	95,79	7,98	10,79
20	2/ago	16:00	13	0,57	0,04	39,23	1014,5	34,3	307,45	6,45	91,58	7,33	104,05	8,00	7,33
21			13	0,04	Alívio								104,05	8,00	
22	3/ago	15:30	14	0,17	0,13	127,48	1014,65	37,6	310,75	20,73	112,31	23,31	126,28	9,02	23,31
23	5/ago	10:30	16	0,16	-0,01	-9,81	1016,8	32,3	305,45	-1,62	110,69	-1,86	126,89	7,93	-0,93
24	6/ago	15:00	17	0,22	0,06	58,84	1014,3	33,2	306,35	9,71	120,40	11,07	137,26	8,07	11,07
25	7/ago	15:10	18	0,22	0	0,00	1014,55	36,1	309,25	0,00	120,40	0,00	136,01	7,56	0,00
26	8/ago	17:00	19	0,25	0,03	29,42	1015,1	35,2	308,35	4,82	125,22	5,47	141,95	7,47	5,47
27	10/ago	15:00	21	0,28	0,03	29,42	1013,9	36,3	309,45	4,80	130,02	5,42	146,69	6,99	2,71
28	13/ago	18:00	24	0,28	0	0,00	1015,05	35	308,15	0,00	130,02	0,00	147,48	6,15	0,00
29	15/ago	17:30	26	0,29	0,01	9,81	1014,8	34,5	307,65	1,61	131,63	1,83	149,51	5,75	0,91
30	16/ago	15:00	27	0,3	0,01	9,81	1014,1	34	307,15	1,61	133,25	1,83	151,49	5,61	1,83
31	17/ago	14:00	28	0,32	0,02	19,61	1013,25	33,5	306,65	3,23	136,48	3,68	155,28	5,55	3,68
32			28	0,02	Alívio								155,28	5,55	
33	20/ago	14:00	31	0,12	0,10	98,07	1014,55	36	309,15	16,03	152,51	18,12	172,34	5,56	6,04
34	21/ago	15:00	32	0,15	0,03	29,42	1014,75	37,5	310,65	4,79	157,30	5,38	176,93	5,53	5,38
35	22/ago	15:00	33	0,16	0,01	9,81	1013,45	37,5	310,65	1,60	158,89	1,79	178,49	5,41	1,79
36	23/ago	14:30	34	0,17	0,01	9,81	1012,95	36,5	309,65	1,60	160,49	1,80	180,77	5,32	1,80
37	24/ago	14:00	35	0,18	0,01	9,81	1012,15	36	309,15	1,60	162,10	1,81	182,72	5,22	1,81
38	27/ago	17:00	38	0,24	0,06	58,84	1013,45	37,5	310,65	9,57	171,67	10,75	192,84	5,07	3,58
39	29/ago	14:20	40	0,26	0,02	19,61	1014,95	37,5	310,65	3,19	174,86	3,59	196,73	4,92	1,79
40	30/ago	14:00	41	0,25	-0,01	-9,81	1015,6	37	310,15	-1,60	173,26	-1,80	195,37	4,77	-1,80
41			41	0,02	Alívio								195,37	4,77	
42	31/ago	13:00	42	0,12	0,10	98,07	1016,8	36	309,15	16,03	189,29	18,16	214,40	5,10	18,16
43	3/set	14:30	45	0,12	0	0,00	1015,95	37	310,15	0,00	189,29	0,00	213,53	4,75	0,00
44	5/set	14:20	47	0,12	0	0,00	1016	37	310,15	0,00	189,29	0,00	213,54	4,54	0,00
45	6/set	13:30	48	0,11	-0,01	-9,81	1015,8	35	308,15	-1,61	187,69	-1,83	213,05	4,44	-1,83
46	10/set	14:30	52	0,17	0,06	58,84	1013,95	39	312,15	9,53	197,21	10,66	220,58	4,24	2,66
47	11/set	16:20	53	0,16	-0,01	-9,81	1013,9	34,5	307,65	-1,61	195,60	-1,83	221,97	4,19	-1,83
48	17/set	16:30	59	0,18	0,02	19,61	1012,4	36,5	309,65	3,20	198,80	3,60	223,80	3,79	0,60
49	18/set	13:00	60	0,17	-0,01	-9,81	1015,2	35,8	308,95	-1,60	197,20	-1,82	223,13	3,72	-1,82
50			60	0,02	Alívio								223,13	3,72	
51	19/set	16:30	61	0,06	0,04	39,23	1014,25	32,9	306,05	6,48	203,68	7,39	232,42	3,81	7,39

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/Hcm2)	Diferença de Pressão (Kg/Hcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Método 2
8	20/jul		0											0	0
9	21/jul	16:20	1	0,1	0,1	98,07	1013,55	33,7	306,85	16,15	16,15	18,37	18,37	18,37	18,37
10	22/jul	17:00	2	0,22	0,12	117,68	1012,4	31,4	304,55	19,53	35,68	22,35	40,84	20,42	22,35
11	23/jul	17:00	3	0,23	0,01	9,81	1012,4	39,8	312,95	1,58	37,26	1,76	41,51	13,84	1,76
12	24/jul	15:30	4	0,29	0,06	58,84	1013,45	39,9	313,05	9,50	46,76	10,59	52,13	13,03	10,59
13	25/jul	15:00	5	0,34	0,05	49,03	1012,9	38,4	311,55	7,95	54,72	8,90	61,25	12,25	8,90
14	26/jul	17:00	6	0,36	0,02	19,61	1014,65	33,4	306,55	3,23	57,95	3,69	66,05	11,01	3,69
15	27/jul	13:30	7	0,36	0	0,00	1014,25	35,4	308,55	0,00	57,95	0,00	65,59	9,37	0,00
16	28/jul	20:00	8	0,37	0,01	9,81	979,15	31	304,15	1,63	59,58	1,80	65,94	8,24	1,80
17	29/jul	13:50	9	0,37	0	0,00	1013,8	35,1	308,25	0,00	59,58	0,00	67,47	7,50	0,00
18	31/jul	19:00	11	0,49	0,12	117,68	1014,4	36,1	309,25	19,23	78,81	21,72	89,02	8,09	10,86
19	1/ago	16:10	12	0,53	0,04	39,23	1013,5	33,1	306,25	6,47	85,29	7,38	97,18	8,10	7,38
20	2/ago	16:00	13	0,55	0,02	19,61	1014,5	32,4	305,55	3,24	88,53	3,71	101,21	7,79	3,71
21			13	0,04	Alívio								101,21	7,79	3,71
22	3/ago	15:30	14	0,11	0,07	68,65	1014,65	36,2	309,35	11,21	99,74	12,67	112,65	8,05	12,67
23	5/ago	10:30	16	0,03	-0,08	-78,45	1016,8	31,5	304,65	-13,01	86,73	-14,96	99,69	6,23	-7,48
24	6/ago	15:00	17	0,13	0,1	98,07	1014,3	34,2	307,35	16,13	102,86	18,32	116,88	6,88	18,32
25	7/ago	15:10	18	0,13	0	0,00	1014,55	35,6	308,75	0,00	102,86	0,00	116,38	6,47	0,00
26	8/ago	17:00	19	0,19	0,06	58,84	1015,1	34,5	307,65	9,67	112,52	10,98	127,84	6,73	10,98
27	10/ago	15:00	21	0,23	0,04	39,23	1013,9	36,1	309,25	6,41	118,93	7,24	134,26	6,39	3,62
28	13/ago	18:00	24	0,23	0	0,00	1015,05	34	307,15	0,00	118,93	0,00	135,34	5,64	0,00
29	15/ago	17:30	26	0,25	0,02	19,61	1014,8	34,5	307,65	3,22	122,15	3,66	138,75	5,34	1,83
30	16/ago	15:00	27	0,26	0,01	9,81	1014,1	33,5	306,65	1,62	123,77	1,84	140,94	5,22	1,84
31	17/ago	14:00	28	0,3	0,04	39,23	1013,25	34	307,15	6,45	130,22	7,33	147,92	5,28	7,33
32			28	0,04	Alívio								147,92	5,28	7,33
33	20/ago	14:00	31	0,1	0,06	58,84	1014,55	35,5	308,65	9,63	139,86	10,91	158,30	5,11	3,64
34	21/ago	15:00	32	0,15	0,05	49,03	1014,75	37	310,15	7,99	147,85	9,00	166,57	5,21	9,00
35	22/ago	15:00	33	0,19	0,04	39,23	1013,45	37	310,15	6,39	154,24	7,19	173,54	5,26	7,19
36	23/ago	14:30	34	0,21	0,02	19,61	1012,95	36	309,15	3,21	157,45	3,62	177,63	5,22	3,62
37	24/ago	14:00	35	0,23	0,02	19,61	1012,15	35,5	308,65	3,21	160,66	3,63	181,40	5,18	3,63
38	27/ago	17:00	38	0,27	0,04	39,23	1013,45	37	310,15	6,39	167,05	7,19	187,95	4,95	2,40
39	29/ago	14:20	40	0,3	0,03	29,42	1014,95	36	309,15	4,81	171,86	5,44	194,29	4,86	2,72
40	30/ago	14:00	41	0,26	-0,04	-39,23	1015,6	37,5	310,65	-6,38	165,48	-7,18	186,29	4,54	-7,18
41			41	0,02	Alívio								186,29	4,54	-7,18
42	31/ago	13:00	42	0,12	0,10	98,07	1016,8	36	309,15	16,03	181,51	18,16	205,59	4,89	18,16
43	3/set	14:30	45	0,13	0,01	9,81	1015,95	37,5	310,65	1,60	183,11	1,80	206,21	4,58	0,60
44	5/set	14:20	47	0,13	0	0,00	1016	37	310,15	0,00	183,11	0,00	206,56	4,39	0,00
45	6/set	13:30	48	0,14	0,01	9,81	1015,8	34,5	307,65	1,61	184,72	1,83	210,02	4,38	1,83
46	10/set	14:30	52	0,2	0,06	58,84	1013,95	39	312,15	9,53	194,24	10,66	217,26	4,18	2,66
47	11/set	16:20	53	0,17	-0,03	-29,42	1013,9	35,5	308,65	-4,82	189,43	-5,45	214,26	4,04	-5,45
48	17/set	16:30	59	0,2	0,03	29,42	1012,4	36,5	309,65	4,80	194,23	5,41	218,64	3,71	0,90
49	18/set	13:00	60	0,2	0	0,00	1015,2	34,8	307,95	0,00	194,23	0,00	220,49	3,67	0,00
50			60	0,00	Alívio								220,49	3,67	0,00
51	19/set	16:30	61	0,04	0,04	39,23	1014,25	34,4	307,55	6,45	200,67	7,32	227,88	3,74	7,32
52			61	0,03	0,00	0,00	1014,65	33,4	306,55	0,00	200,67	0,00	227,88	3,74	0,00

Lodo_medio / Lixo.Lodo_medio / Lixo.Lodo.25ml / Zn.3mg / Zn.7mg / Mn.3mg / Mn.7mg

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Julho.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Ensaio dos fracos (BMP)															
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/Hcm2)	Diferença de Pressão (Kg/Hcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Método 2
8	20/jul		0											0	0
9	21/jul	16:20	1	0,04	0,04	39,23	1013,55	35,4	308,55	6,43	6,43	7,27	7,27	7,27	7,27
10	22/jul	17:00	2	0,08	0,04	39,23	1012,4	33,1	306,25	6,47	12,90	7,37	14,68	7,34	7,37
11	23/jul	17:00	3	0,08	0	0,00	1012,4	38,8	311,95	0,00	12,90	0,00	14,41	4,80	0,00
12	24/jul	15:30	4	0,11	0,03	29,42	1013,45	39,3	312,45	4,76	17,66	5,31	19,72	4,93	5,31
13	25/jul	15:00	5	0,09	-0,02	-19,61	1012,9	39,3	312,45	-3,17	14,48	-3,54	16,17	3,23	-3,54
14	26/jul	17:00	6	0,09	0	0,00	1014,65	34,6	307,75	0,00	14,48	0,00	16,44	2,74	0,00
15	27/jul	13:30	7	0,07	-0,02	-19,61	1014,25	36	309,15	-3,21	11,28	-3,62	12,74	1,82	-3,62
16	28/jul	20:00	8	0,17	0,1	98,07	979,15	30,8	303,95	16,31	27,58	18,06	30,55	3,82	18,06
17	29/jul	13:50	9	0,12	-0,05	-49,03	1013,8	34,8	307,95	-8,05	19,54	-9,12	22,15	2,46	-9,12
18	31/jul	19:00	11	0,19	0,07	68,65	1014,4	35,5	308,65	11,24	30,78	12,72	34,83	3,17	6,36
19	1/ago	16:10	12	0,17	-0,02	-19,61	1013,5	35,1	308,25	-3,22	27,56	-3,64	31,20	2,60	-3,64
20	2/ago	16:00	13	0,18	0,01	9,81	1014,5	32	305,15	1,62	29,19	1,86	33,41	2,57	1,86
21			13	0,04	Alívio								33,41	2,57	1,86
22	3/ago	15:30	14	0,11	0,07	68,65	1014,65	35,8	308,95	11,23	40,42	12,70	45,71	3,26	12,70
23	5/ago	10:30	16	0,22	0,11	107,87	1016,8	30,2	303,35	17,97	58,39	20,75	67,40	4,21	10,37
24	6/ago	15:00	17	0,14	-0,08	-78,45	1014,3	33,3	306,45	-12,94	45,45	-14,75	51,80	3,05	-14,75
25	7/ago	15:10	18	0,26	0,12	117,68	1014,55	35,4	308,55	19,28	64,72	21,82	73,28	4,07	21,82
26	8/ago	17:00	19	0,26	0	0,00	1015,1	33,6	306,75	0,00	64,72	0,00	73,75	3,88	0,00
27	10/ago	15:00	21	0,25	-0,01	-9,81	1013,9	35,7	308,85	-1,60	63,12	-1,81	71,35	3,40	-0,91
28	13/ago	18:00	24	0,22	-0,03	-29,42	1015,05	34	307,15	-4,84	58,28	-5,51	66,32	2,76	-1,84
29	15/ago	17:30	26	0,21	-0,01	-9,81	1014,8	34	307,15	-1,61	56,67	-1,84	64,47	2,48	-0,92
30	16/ago	15:00	27	0,21	0	0,00	1014,1	34	307,15	0,00	56,67	0,00	64,42	2,39	0,00
31	17/ago	14:00	28	0,19	-0,02	-19,61	1013,25	35,5	308,65	-3,21	53,45	-3,63	60,42	2,16	-3,63
32			28	0,02	Alívio								60,42	2,16	-3,63
33	20/ago	14:00	31	0,07	0,05	49,03	1014,55	35,5	308,65	8,03	61,48	9,09	69,59	2,24	3,03
34	21/ago	15:00	32	0,1	0,03	29,42	1014,75	37,5	310,65	4,79	66,27	5,38	74,54	2,33	5,38
35	22/ago	15:00	33	0,19	0,09	88,26	1013,45	37,5	310,65	14,36	80,63	16,13	90,57	2,74	16,13
36	23/ago	14:30	34	0,1	-0,09	-88,26	1012,95	37	310,15	-14,38	66,25	-16,17	74,50	2,19	-16,17
37	24/ago	14:00	35	0,09	-0,01	-9,81	1012,15	36	309,15	-1,60	64,64	-1,81	72,87	2,08	-1,81
38	27/ago	17:00	38	0,17	0,08	78,45	1013,45	37	310,15	12,78	77,43	14,38	87,11	2,29	4,79
39	29/ago	14:20	40	0,14	-0,03	-29,42	1014,95	35,5	308,65	-4,82	72,61	-5,45	82,22	2,06	-2,73
40	30/ago	14:00	41	0,12	-0,02	-19,61	1015,6	36	309,15	-3,21	69,40	-3,63	78,51	1,91	-3,63
41			41	0,02	Alívio								78,51	1,91	3,63
42	31/ago	13:00	42	0,03	0,01	9,81	1016,8	36,5	309,65	1,60	71,00	1,81	80,29	1,91	1,81
43	3/set	14:30	45	0,04	0,01	9,81	1015,95	37,5	310,65	1,60	72,60	1,80	81,76	1,82	0,60
44	5/set	14:20	47	0,06	0,02	19,61	1016	36	309,15	3,21	75,81	3,63	85,79	1,83	1,81
45	6/set	13:30	48	0,04	-0,02	-19,61	1015,8	34,5	307,65	-3,22	72,58	-3,66	82,53	1,72	-3,66
46	10/set	14:30	52	0,19	0,15	147,10	1013,95	38,5	311,65	23,85	96,44	26,72	108,04	2,08	6,68
47	11/set	16:20	53	0,05	-0,14	-137,29	1013,9	35,5	308,65	-22,48	73,96	-25,43	83,65	1,58	-25,43
48	17/set	16:30	59	0,06	0,01	9,81	1012,4	37	310,15	1,60	75,56	1,80	84,92	1,44	0,30
49	18/set	13:00	60	0,05	-0,01	-9,81	1015,2	36,1	309,25	-1,60	73,95	-1,81	83,60	1,39	-1,81
50			60	0,00	Alívio								83,60	1,39	-1,81
51	19/set	16:30	61	0,02	0,02	19,61	1014,25	33,2	306,35	3,24	77,19	3,69	88,00	1,44	3,69

Lixo.Lodo_media / Lixo.Lodo.25ml / Zn.3mg / Zn.7mg / Mn.3mg / Mn.7mg / Gráficos.Re

b) Planilhas do Ensaio BMP com Fe

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Novembro.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Digite uma pergunta															
Arial 10															
Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	50,0	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,2000	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/forç2)	Diferença de Pressão (Kg/forç4)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás	Condições CNTF	Condições CNTF	Cálculo - Taxa geração (ml/dia)	
8	17/nov		0								Acumulado (ml)	gerado (ml)	Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
9	18/nov	11:45	1	0,07	0,07	63,74	1011,70	37	310,15	11,08	11,08	12,44	12,44	12,44	0
10	19/nov	17:00	2	0,07	0	0,00	1010,55	37	310,15	0,00	11,08	0,00	12,43	6,21	0,00
11	20/nov	16:15	3	0,07	0,005	4,90	1010,55	37	310,15	0,85	11,93	0,96	13,38	4,46	0,96
12	22/nov	15:30	5	0,07	0	0,00	1010,00	37	310,15	0,00	11,93	0,00	13,38	2,68	0,00
13	23/nov	20:00	6	0,07	0	0,00	1012,05	37	310,15	0,00	11,93	0,00	13,41	2,23	0,00
14	26/nov	14:50	9	0,09	0,015	14,71	1009,8	37	310,15	2,56	14,49	2,87	16,24	1,80	0,96
15	27/nov	16:00	10	0,10	0,01	9,81	1007,85	37	310,15	1,70	16,19	1,91	18,11	1,81	1,91
16	28/nov	20:00	11	0,10	0,005	4,90	1010,1	37	310,15	0,85	17,05	0,96	19,11	1,74	0,96
17	29/nov	18:00	12	0,10	0	0,00	1008,75	37	310,15	0,00	17,05	0,00	19,09	1,59	0,00
18			12	0,04	Alívio						17,05	0,00	19,09	1,59	0,00
19	3/dez	19:00	16	0,07	0,03	24,52	1011,45	37	310,15	4,26	21,31	4,78	23,93	1,50	1,20
20	5/dez	16:30	18	0,10	0,035	34,32	1011	37	310,15	5,97	27,28	6,70	30,61	1,70	3,35
21	6/dez	18:20	19	0,13	0,03	29,42	1010,8	37	310,15	5,11	32,39	5,74	36,34	1,91	5,74
22	7/dez	16:00	20	0,13	0,00	0,00	1009,45	37	310,15	0,00	32,39	0,00	36,29	1,81	0,00
23	11/dez	18:45	24	0,16	0,03	29,42	1011,2	37	310,15	5,11	37,50	5,74	42,10	1,75	1,44
24			24	0,04	Alívio						37,50	5,74	42,10	1,75	1,31
25	13/dez	18:20	26	0,10	0,06	58,84	1010,1	37	310,15	10,23	47,73	11,47	53,52	2,06	5,73
26	17/dez	14:00	30	0,09	-0,01	-9,81	1009,8	37	310,15	-1,70	46,03	-1,91	51,59	1,72	-0,48
27	18/dez	14:00	31	0,07	-0,02	-19,61	1011,3	37	310,15	-3,41	42,62	-3,83	47,84	1,54	-3,83
28	21/dez	15:00	34	0,06	-0,015	-14,71	1009,6	37	310,15	-2,56	40,06	-2,87	44,89	1,32	-0,96
29			34	0,02	Alívio						40,06		44,89	1,29	-0,64
30	27/dez	18:00	40	0,03	0,02	14,71	1009,65	37	310,15	2,56	42,62	2,87	47,76	1,19	0,48
31			40	0,02	Alívio						42,62		47,76	1,15	-0,32
32	2/jan	11:30	46	0,04	0,02	19,61	1011,95	37	310,15	3,41	46,03	3,83	51,71	1,12	0,64
33	8/jan	11:45	52	0,03	-0,02	-14,71	1010,75	37	310,15	-2,56	43,47	-2,87	48,77	0,94	-0,48
34	11/jan	14:00	55	0,03	0,005	4,90	1009,7	37	310,15	0,85	44,32	0,96	49,68	0,90	0,32
35	15/jan	16:00	59	0,03	0,00	0,00	1008,3	37	310,15	0,00	44,32	0,00	49,60	0,84	0,00
36	22/jan	16:00	66	0,03	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	44,32	0,00	49,61	0,75	0,00
37				0,00	Alívio										
38											Produção total (ml)		53,52		
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
Lodo_média / Fe.2mg_média / Fe.7mg_média / Fe.20mg_média / Lixo.Lodo_média / Gr															

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Novembro.2007.Medias_VF Tabela

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

67%

Arial 10

Ensaio dos fracos (BMP)

Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão Frasco (Kg/fcm ²)	Diferença de Pressão (Kg/fcm ²)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
8	17/nov		0												
9	18/nov	11:45	1	0,14	0,14	137,29	1011,70	37	310,15	22,37	22,37	25,13	25,13	25,13	25,13
10	19/nov	17:00	2	0,19	0,045	44,13	1010,55	37	310,15	7,19	29,56	8,07	33,16	16,58	8,07
11	20/nov	16:15	3	0,22	0,035	34,32	1010,55	37	310,15	5,59	35,16	6,27	39,44	13,15	6,27
12	22/nov	15:30	5	0,28	0,06	58,84	1010,00	37	310,15	9,59	44,74	10,75	50,16	10,03	5,37
13	23/nov	20:00	6	0,31	0,025	24,52	1012,05	37	310,15	3,99	48,74	4,49	54,76	9,13	4,49
14	26/nov	14:50	9	0,39	0,085	83,36	1009,8	37	310,15	13,58	62,32	15,22	69,86	7,76	5,07
15	27/nov	16:00	10	0,45	0,06	58,84	1007,85	37	310,15	9,59	71,91	10,73	80,44	8,04	10,73
16	28/nov	20:00	11	0,50	0,045	44,13	1010,1	37	310,15	7,19	79,10	8,06	88,69	8,06	8,06
17	29/nov	18:00	12	0,52	0,02	19,61	1008,75	37	310,15	3,20	82,30	3,58	92,15	7,68	3,58
18			12	0,04	Alívio			37	310,15	3,20	82,30	3,58	92,15	7,68	3,58
19	3/dez	19:00	16	0,25	0,205	201,03	1011,45	37	310,15	32,76	115,06	36,78	129,19	8,07	9,20
20	5/dez	16:30	18	0,31	0,06	58,84	1011	37	310,15	9,59	124,65	10,76	139,89	7,77	5,38
21	6/dez	18:20	19	0,32	0,015	14,71	1010,8	37	310,15	2,40	127,04	2,69	142,55	7,50	2,69
22	7/dez	16:00	20	0,32	-0,005	-4,90	1009,45	37	310,15	-0,80	126,24	-0,90	141,46	7,07	-0,90
23	11/dez	18:45	24	0,35	0,03	29,42	1011,2	37	310,15	4,79	131,04	5,38	147,09	6,13	1,35
24			24	0,05	Alívio			37	310,15	4,79	131,04	5,38	147,09	6,13	1,35
25	13/dez	18:20	26	0,11	0,065	63,74	1010,1	37	310,15	10,39	141,43	11,65	158,57	6,10	5,82
26	17/dez	14:00	30	0,14	0,03	29,42	1009,8	37	310,15	4,79	146,22	5,37			

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Novembro.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
67% Arial 10 N <i>I</i> <u>S</u>															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco		250,0	ml											
3	Volume líquido no frasco		62,5	ml											
4	Volume útil do frasco (litro)		0,1875	litros											
5															
6											Produção biogás		Cálculo - Taxa geração (ml/dia)		
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/fcm2)	Diferença de Pressão (Kg/fcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
8	17/nov		0										0	0	0
9	18/nov	11:45	1	0,11	0,11	107,87	1011,70	37	310,15	17,58	17,58	19,74	19,74	19,74	19,74
10	19/nov	17:00	2	0,16	0,05	49,03	1010,55	37	310,15	7,99	25,57	8,96	28,68	14,34	8,96
11	20/nov	16:15	3	0,22	0,06	58,84	1010,55	37	310,15	9,59	35,16	10,76	39,44	13,15	10,76
12	22/nov	15:30	5	0,3	0,08	78,45	1010,00	37	310,15	12,78	47,94	14,33	53,75	10,75	7,17
13	23/nov	20:00	6	0,32	0,02	19,61	1012,05	37	310,15	3,20	51,14	3,59	57,45	9,58	3,59
14	26/nov	14:50	9	0,44	0,12	117,68	1009,8	37	310,15	19,18	70,31	21,49	78,81	8,76	7,16
15	27/nov	16:00	10	0,47	0,03	29,42	1007,85	37	310,15	4,79	75,11	5,36	84,02	8,40	5,36
16	28/nov	20:00	11	0,5	0,03	29,42	1010,1	37	310,15	4,79	79,90	5,38	89,59	8,14	5,38
17	29/nov	18:00	12	0,51	0,01	9,81	1008,75	37	310,15	1,60	81,50	1,79	91,25	7,60	1,79
18			12	0,04	Alívio			37	310,15		81,50	1,79	91,25	7,60	1,79
19	3/dez	19:00	16	0,25	0,21	205,94	1011,45	37	310,15	33,56	115,06	37,68	129,19	8,07	9,42
20	5/dez	16:30	18	0,31	0,06	58,84	1011	37	310,15	9,59	124,65	10,76	139,89	7,77	5,38
21	6/dez	18:20	19	0,32	0,01	9,81	1010,8	37	310,15	1,60	126,24	1,79	141,65	7,46	1,79
22	7/dez	16:00	20	0,34	0,02	19,61	1009,45	37	310,15	3,20	129,44	3,58	145,04	7,25	3,58
23	11/dez	18:45	24	0,4	0,06	58,84	1011,2	37	310,15	9,59	139,03	10,76	156,06	6,50	2,69
24			24	0,04	Alívio			37	310,15		139,03	10,76	156,06	6,50	2,69
25	13/dez	18:20	26	0,08	0,04	39,23	1010,1	37	310,15	6,39	145,42	7,17	163,05	6,27	3,58
26	17/dez	14:00	30	0,12	0,04	39,23	1009,8	37	310,15	6,39	151,81	7,16	170,17	5,67	1,79
27	18/dez	14:00	31	0,12	0	0,00	1011,3	37	310,15	0,00	151,81	0,00	170,43	5,50	0,00
28	21/dez	15:00	34	0,08	-0,04	-39,23	1009,6	37	310,15	-6,39	145,42	-7,16	162,97	4,79	-2,39
29			34	0,04	Alívio			37	310,15		145,42	-7,16	162,97	4,79	-2,39
30	27/dez	18:00	40	0,08	0,04	39,23	1009,65	37	310,15	6,39	151,81	7,16	170,14	4,25	1,19
31			40	0,02	Alívio			37	310,15		151,81	7,16	170,14	4,25	1,19
32	2/jan	11:30	46	0,04	0,02	19,61	1011,95	37	310,15	3,20	155,01	3,59	174,13	3,79	0,60
33	8/jan	11:45	52	0,04	0	0,00	1010,75	37	310,15	0,00	155,01	0,00	173,92	3,34	0,00
34	11/jan	14:00	55	0,08	0,04	39,23	1009,7	37	310,15	6,39	161,40	7,16	180,89	3,29	0,80
35	15/jan	16:00	59	0,07	-0,01	-9,81	1008,3	37	310,15	-1,60	159,80	-1,79	178,84	3,03	-0,45
36	22/jan	16:00	66	0,17	0,1	98,07	1008,4	37	310,15	15,98	175,78	17,89	196,74	2,98	2,56
37				0,00	Alívio										
38											Produção total (ml)		196,74		
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Novembro.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Digite uma pergunta															
Arial 10															
Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco	250,0	ml												
3	Volume líquido no frasco	62,5	ml												
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros												
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás		Cálculo - Taxa geração (ml/dia)		
8											Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
9	17/nov	11:45	0	0,11	0,105	102,97	1011,70	37	310,15	16,78	16,78	18,84	18,84	18,84	18,84
10	19/nov	17:00	2	0,15	0,04	39,23	1010,55	37	310,15	6,39	23,17	7,17	25,99	13,00	7,17
11	20/nov	16:15	3	0,20	0,05	49,03	1010,55	37	310,15	7,99	31,16	8,96	34,95	11,65	8,96
12	22/nov	15:30	5	0,25	0,055	53,94	1010,00	37	310,15	8,79	39,95	9,85	44,79	8,96	4,93
13	23/nov	20:00	6	0,27	0,02	19,61	1012,05	37	310,15	3,20	43,15	3,59	48,47	8,08	3,59
14	26/nov	14:50	9	0,37	0,1	98,07	1009,8	37	310,15	15,98	59,13	17,91	66,27	7,36	5,97
15	27/nov	16:00	10	0,41	0,04	39,23	1007,85	37	310,15	6,39	65,52	7,15	73,29	7,33	7,15
16	28/nov	20:00	11	0,45	0,04	39,23	1010,1	37	310,15	6,39	71,91	7,17	80,63	7,33	7,17
17	29/nov	18:00	12	0,45	0	0,00	1008,75	37	310,15	0,00	71,91	0,00	80,52	6,71	0,00
18			12	0,04	Alívio			37		0,00	71,91	0,00	80,52	6,71	0,00
19	3/dez	19:00	16	0,26	0,22	215,74	1011,45	37	310,15	35,16	107,07	39,47	120,21	7,51	9,87
20	5/dez	16:30	18	0,33	0,065	63,74	1011	37	310,15	10,39	117,45	11,66	131,81	7,32	5,83
21	6/dez	18:20	19	0,36	0,03	29,42	1010,8	37	310,15	4,79	122,25	5,38	137,17	7,22	5,38
22	7/dez	16:00	20	0,36	0,005	4,90	1009,45	37	310,15	0,80	123,05	0,90	137,87	6,89	0,90
23	11/dez	18:45	24	0,38	0,02	19,61	1011,2	37	310,15	3,20	126,24	3,59	141,71	5,90	0,90
24			24	0,04	Alívio			37		3,20	126,24	3,59	141,71	5,90	0,90
25	13/dez	18:20	26	0,14	0,1	98,07	1010,1	37	310,15	15,98	142,22	17,92	159,46	6,13	8,96
26	17/dez	14:00	30	0,11	-0,03	-29,42	1009,8	37	310,15	-4,79	137,43	-5,37	154,04	5,13	-1,34
27	18/dez	14:00	31	0,13	0,02	19,61	1011,3	37	310,15	3,20	140,62	3,59	157,87	5,09	3,59
28	21/dez	15:00	34	0,12	-0,015	-14,71	1009,6	37	310,15	-2,40	138,22	-2,69	154,90	4,56	-0,90
29			34	0,04	Alívio			37		-2,40	138,22	-3,58	154,90	4,56	-1,19
30	27/dez	18:00	40	0,06	0,025	24,52	1009,65	37	310,15	3,99	142,21	4,48	159,38	3,98	0,75
31			40	0,02	Alívio			37	310,15	3,99	142,21	4,48	159,38	3,98	2,09
32	2/jan	11:30	46	0,06	0,04	34,32	1011,95	37	310,15	5,59	147,80	6,28	166,04	3,61	1,05
33	8/jan	11:45	52	0,09	0,03	29,42	1010,75	37	310,15	4,79	152,60	5,38	171,21	3,29	0,90
34	11/jan	14:00	55	0,09	0,00	4,90	1009,7	37	310,15	0,80	153,40	0,90	171,92	3,13	0,30
35	15/jan	16:00	59	0,11	0,015	14,71	1008,3	37	310,15	2,40	155,79	2,68	174,36	2,96	0,67
36	22/jan	16:00	66	0,17	0,06	58,84	1008,4	37	310,15	9,59	165,38	10,73	185,11	2,80	1,53
37				0,00	Alívio										
38											Produção total (ml)		185,11		
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															

Lodo_média / Fe.2mg_média / Fe.7mg_média / Fe.20mg_média / Lixo.Lodo_média / Gr

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Novembro.2007.Medias_VF Tabela															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
67% Arial 10 N <i>I</i> <u>S</u>															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
1	Ensaio dos fracos (BMP)														
2	Volume frasco		250,0	ml											
3	Volume líquido no frasco		62,5	ml											
4	Volume útil do frasco (litro)		0,1875	litros											
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/fcm2)	Diferença de Pressão (Kg/fcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTFC gerado (ml)	Condições CNTFC Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
8	17/nov		0												
9	18/nov	11:45	1	0,1	0,1	98,07	1011,70	37	310,15	15,98	15,98	17,95	17,95	17,95	17,95
10	19/nov	17:00	2	0,18	0,08	78,45	1010,55	37	310,15	12,78	28,76	14,34	32,27	16,13	14,34
11	20/nov	16:15	3	0,24	0,06	58,84	1010,55	37	310,15	9,59	38,35	10,76	43,02	14,34	10,76
12	22/nov	15:30	5	0,32	0,08	78,45	1010,00	37	310,15	12,78	51,14	14,33	57,33	11,47	7,17
13	23/nov	20:00	6	0,37	0,05	49,03	1012,05	37	310,15	7,99	59,13	8,98	66,43	11,07	8,98
14	26/nov	14:50	9	0,48	0,11	107,87	1009,8	37	310,15	17,58	76,70	19,70	85,98	9,55	6,57
15	27/nov	16:00	10	0,49	0,01	9,81	1007,85	37	310,15	1,60	78,30	1,79	87,59	8,76	1,79
16	28/nov	20:00	11	0,49	0	0,00	1010,1	37	310,15	0,00	79,30	0,00	87,79	7,98	0,00
17	29/nov	18:00	12	0,5	0,01	9,81	1008,75	37	310,15	1,60	79,90	1,79	89,46	7,46	1,79
18			12	0,04	Alívio			37		1,60	79,90	1,79	89,46	7,46	1,79
19	3/dez	19:00	16	0,25	0,21	205,94	1011,45	37	310,15	33,56	113,46	37,68	127,39	7,96	9,42
20	5/dez	16:30	18	0,28	0,03	29,42	1011	37	310,15	4,79	118,25	5,38	132,71	7,37	2,69
21	6/dez	18:20	19	0,34	0,06	58,84	1010,8	37	310,15	9,59	127,84	10,76	143,44	7,55	10,76
22	7/dez	16:00	20	0,34	0	0,00	1009,45	37	310,15	0,00	127,84	0,00	143,24	7,16	0,00
23	11/dez	18:45	24	0,4	0,06	58,84	1011,2	37	310,15	9,59	137,43	10,76	154,26	6,43	2,69

109

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Dezembro.2007.Medias_VF Tabela.VFVF

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Digite uma pergunta

Arial 10

Ensaio dos fracos (BMP)

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Ensaio dos fracos (BMP)															
2	Volume frasco		250,0	ml											
3	Volume líquido no frasco		62,5	ml											
4	Volume útil do frasco (litro)		0,1875	litros											
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás	Condições CNTP	Condições CNTP	Cálculo - Taxa geração (ml/dia)	
											Acumulado (ml)	gerado (ml)	Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
8	1/dez		0								0		0	0	0
9	2/dez	16:20	1	0,10	0,1	98,07	1011,05	37	310,15	15,98	15,98	17,93	17,93	17,93	17,93
10	3/dez	17:00	2	0,20	0,1	98,07	1011,45	37	310,15	15,98	31,96	17,94	35,88	17,94	17,94
11	5/dez	16:30	5	0,34	0,14	137,29	1011	37	310,15	22,37	54,33	25,11	60,98	12,20	8,37
12	6/dez	18:20	6	0,43	0,09	88,26	1010,8	37	310,15	14,38	68,71	16,14	77,10	12,85	16,14
13	7/dez	16:00	7	0,44	0,01	9,81	1009,45	37	310,15	1,60	70,31	1,79	78,78	11,25	1,79
14	11/dez	18:45	11	0,44	0	0,00	1011,2	37	310,15	0,00	70,31	0,00	78,93	7,18	0,00
15			11	0,04	Alívio			37	310,15	0,00	70,31	0,00	78,93	7,18	0,00
16	13/dez	18:20	13	0,13	0,09	88,26	1010,1	37	310,15	14,38	84,69	16,13	94,96	7,30	8,06
17	17/dez	14:00	17	0,20	0,07	68,65	1009,8	37	310,15	11,19	95,88	12,54	107,47	6,32	3,13
18	18/dez	14:00	18	0,24	0,04	39,23	1011,3	37	310,15	6,39	102,27	7,18	114,81	6,38	7,18
19	21/dez	15:00	21	0,24	0	0,00	1009,6	37	310,15	0,00	102,27	0,00	114,61	5,46	0,00
20			21	0,04	Alívio			37	310,15	0,00	102,27	0,00	114,61	5,46	0,00
21	27/dez	18:00	27	0,22	0,18	176,52	1009,65	37	310,15	28,76	131,03	32,24	146,85	5,44	5,37
22			27	0,04	Alívio			37	310,15	28,76	131,03	32,36	146,85	5,44	5,37
23	2/jan	11:30	34	0,16	0,12	117,68	1011,95	37	310,15	19,18	150,21	21,54	168,74	4,96	3,08
24	8/jan	11:45	40	0,22	0,06	58,84	1010,75	37	310,15	9,59	159,79	10,76	179,29	4,48	1,79
25	11/jan	14:00	43	0,36	0,14	137,29	1009,7	37	310,15	22,37	182,17	25,07	204,17	4,75	8,36
26	15/jan	16:00	47	0,40	0,04	39,23	1008,3	37	310,15	6,39	188,56	7,15	211,02	4,49	1,79
27	22/jan	16:00	54	0,43	0,03	29,42	1008,4	37	310,15	4,79	193,35	5,37	216,41	4,01	0,77
28	25/jan	15:00	56	0,43	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	193,35	0,00	216,41	3,86	0,00
29	27/jan	14:00	58	0,43	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	193,35	0,00	216,41	3,73	0,00
30	30/jan	16:00	60	0,43	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	193,35	0,00	216,41	3,61	0,00
31					Alívio										
32											Produção total (ml)		216,41		
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															

Lodo_média Lixo.Lodo_média Lixo 1Ano.média Lixo Velho_média Gráficos.Resumc

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Dezembro.2007.Medias_VF Tabela.VFVF															
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
A1 Ensaio dos fracos (BMP)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Ensaio dos fracos (BMP)															
2	Volume frasco		250,0	ml											
3	Volume líquido no frasco		62,5	ml											
4	Volume útil do frasco (litro)		0,1875	litros											
5															
6															
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/ftm2)	Diferença de Pressão (Kg/ftm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Método 1	Método 2
8	1/dez		0												
9	2/dez	16:20	1	0,00	0	0,00	1011,05	37	310,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	3/dez	17:00	2	0,00	0	0,00	1011,45	37	310,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	5/dez	16:30	5	0,06	0,06	58,84	1011	37	310,15	9,59	9,59	10,76	10,76	2,15	3,59
12	6/dez	18:20	6	0,06	0	0,00	1010,8	37	310,15	0,00	9,59	0,00	10,76	1,79	0,00
13	7/dez	16:00	7	0,05	-0,01	-9,81	1009,45	37	310,15	-1,60	7,99	-1,79	8,95	1,28	-1,79
14	11/dez	18:45	11	0,07	0,02	19,61	1011,2	37	310,15	3,20	11,19	3,59	12,56	1,14	0,90
15			11	0,03	Alívio			37	310,15	3,20	11,19	3,59	12,56	1,14	0,90
16	13/dez	18:20	13	0,00	-0,03	-29,42	1010,1	37	310,15	-4,79	6,40	-5,38	7,17	0,55	-2,69
17	17/dez	14:00	17	0,00	0	0,00	1009,8	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,42	0,00
18	18/dez	14:00	18	0,00	0	0,00	1011,3	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,18	0,40	0,00
19	21/dez	15:00	21	0,00	0	0,00	1009,6	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,34	0,00
20			21	0,00	Alívio			37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,34	0,00
21	27/dez	18:00	27	0,00	0	0,00	1009,65	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,27	0,00
22			27	0,00	Alívio			37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,27	0,00
23	2/jan	11:30	34	0,00	0	0,00	1011,95	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,19	0,21	0,00
24	8/jan	11:45	40	0,00	0	0,00	1010,75	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,18	0,18	0,00
25	11/jan	14:00	43	0,00	0	0,00	1009,7	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,17	0,17	0,00
26	15/jan	16:00	47	0,00	0	0,00	1008,3	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,16	0,15	0,00
27	22/jan	16:00	54	0,00	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,16	0,13	0,00
28	25/jan	15:00	56	0,00	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,16	0,13	0,00
29	27/jan	14:00	58	0,00	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,16	0,12	0,00
30	30/jan	16:00	60	0,00	0	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	6,40	0,00	7,16	0,12	0,00
31					Alívio										
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75															
76															
77															
78															
79															
80															
81															
82															
83															
84															
85															
86															
87															
88															
89															
90															
91															
92															
93															
94															
95															
96															
97															
98															
99															
100															
101															
102															
103															
104															
105															
106															
107															
108															
109															
110															
111															
112															
113															
114															
115															
116															
117															
118															
119															
120															
121															
122															
123															
124															

Microsoft Excel - Ensaio.BMPs.Dezembro.2007.Medias_VF Tabela.VFVF

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Digitte uma pergunta

Arial 10

A1 Ensaio dos fracos (BMP)

Ensaio dos fracos (BMP)																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
1	Ensaio dos fracos (BMP)															
2	Volume frasco	250,0	ml													
3	Volume liquido no frasco	62,5	ml													
4	Volume útil do frasco (litro)	0,1875	litros													
5																
6																
7	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/fcm2)	Diferença de Pressão (Kg/fcm2)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Produção biogás Acumulado (ml)	Condições CNTF gerado (ml)	Condições CNTF Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Método 2	
8	1/dez		0											0	0	
9	2/dez	16:20	1	0,02	0,02	14,71	1011,05	37	310,15	2,40	2,40	2,69	2,69	2,69	2,69	
10	3/dez	17:00	2	0,03	0,02	14,71	1011,45	37	310,15	2,40	4,79	2,69	5,38	2,69	2,69	
11	5/dez	16:30	5	0,06	0,03	29,42	1011	37	310,15	4,79	9,59	5,38	10,76	2,15	1,79	
12	6/dez	18:20	6	0,09	0,03	24,52	1010,8	37	310,15	3,99	13,58	4,48	15,24	2,54	4,48	
13	7/dez	16:00	7	0,09	0,00		1009,45	37	310,15	0,00	13,58	0,00	15,22	2,17	0,00	
14	11/dez	18:45	11	0,12	0,04	34,32	1011,2	37	310,15	5,59	19,18	6,28	21,53	1,96	1,57	
15			11	0,04	Alívio			37	310,15	5,59	19,18	6,28	21,53	1,96	2,25	
16	13/dez	18:20	13	0,08	0,04	39,23	1010,1	37	310,15	6,39	25,57	7,17	28,67	2,21	3,58	
17	17/dez	14:00	17	0,09	0,01	9,81	1009,8	37	310,15	1,60	27,17	1,79	30,45	1,79	0,45	
18	18/dez	14:00	18	0,09	0,00	-4,90	1011,3	37	310,15	-0,80	26,37	-0,90	29,60	1,64	-0,90	
19	21/dez	15:00	21	0,07	-0,02	-14,71	1009,6	37	310,15	-2,40	23,97	-2,69	26,87	1,28	-0,90	
20			21	0,01	Alívio			37	310,15	-2,40	23,97	-2,69	26,87	1,45	0,60	
21	27/dez	18:00	27	0,05	0,04	34,32	1009,65	37	310,15	5,59	29,56	6,27	33,13	1,23	1,04	
22			27	0,02	Alívio			37	310,15	5,59	29,56	6,27	33,13	1,19	0,30	
23	21/jan	11:30	34	0,04	0,03	24,52	1011,95	37	310,15	3,99	33,55	4,49	37,69	1,11	0,64	
24	8/jan	11:45	40	0,03	-0,02	-14,71	1010,75	37	310,15	-2,40	31,16	-2,69	34,96	0,87	-0,45	
25	11/jan	14:00	43	0,04	0,01	9,81	1009,7	37	310,15	1,60	32,76	1,79	36,71	0,85	0,60	
26	15/jan	16:00	47	0,05	0,01	9,81	1008,3	37	310,15	1,60	34,35	1,79	38,45	0,82	0,45	
27	22/jan	16:00	54	0,05	0,01	4,90	1008,4	37	310,15	0,80	35,15	0,89	39,35	0,73	0,13	
28	25/jan	15:00	56	0,05	0,00	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	35,15	0,00	39,35	0,70	0,00	
29	27/jan	14:00	58	0,05	0,00	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	35,15	0,00	39,35	0,68	0,00	
30	30/jan	16:00	60	0,05	0,00	0,00	1008,4	37	310,15	0,00	35,15	0,00	39,35	0,66	0,00	
31					Alívio											
32																
33											Produção total (ml)		39,35			
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																

Lodo média / Lixo.Lodo média / Lixo 1Ano.média / Lixo Velho média / Gráficos.Resumc

APÊNDICE II: Planilhas utilizadas no Ensaio com Biorreatores

Microsoft Excel - Reatores.Dimensaoamento.V10_Tabela VF

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Calibri 11

A27 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
20	Volume total reator	1514,87	cm ³												
21	Volume ocupado lixo	775,91	cm ³												
22	Volume livre no reator	738,96	cm ³												
23	Densidade úmida lixo no reator	0,74	g/cm ³												
24	Densidade peça lixo no reator	0,52	g/cm ³												
25															
26	Volume livre no reator (litros)		0,7390	litros											
27															
28															
29	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kg/cm ²)	Diferença de Pressão (Kg/cm ²)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 1	Cálculo - Taxa geração (ml/dia) Método 2
30	22/jul	17:00	1	0,00	0,00	0,00	1012,40	23	296,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	23/jul	17:10	2	0,08	0,08	78,45	1012,40	23	296,15	52,76	52,76	62,11	62,11	31,05	62,11
32	24/jul	15:00	3	0,08	0,00	0,00	1013,45	23	296,15	0,00	52,76	0,00	62,11	20,72	0,00
33	25/jul	15:00	4	0,28	0,20	196,13	1012,30	22	295,15	132,36	185,12	156,40	218,75	54,63	156,40
34	26/jul	20:00	7	0,38	0,10	38,07	979,15	26,5	299,65	65,19	250,31	73,23	281,20	40,17	24,41
35	23/jul	18:00	8	0,41	0,03	23,42	1013,8	26,5	299,65	19,56	269,87	22,78	314,38	39,30	22,78
36			8	0,04	Alívio								314,38	39,30	
37	31/jul	17:00	10	0,08	0,04	39,23	1014,4	22	295,15	26,47	296,34	31,33	350,70	35,07	15,66
38	1/ago	16:00	11	0,12	0,04	39,23	1013,5	22	295,15	26,47	322,81	31,30	381,68	34,70	31,30
39	2/ago	16:10	12	0,13	0,01	3,81	1014,5	22	295,15	6,62	329,43	7,83	389,30	32,43	7,83
40	3/ago	16:00	13	0,16	0,03	23,42	1014,65	22	295,15	19,85	349,28	23,50	413,46	31,80	23,50
41	5/ago	10:30	15	0,22	0,06	58,84	1016,8	27	300,15	33,05	388,33	45,55	453,03	30,20	22,78
42	6/ago	15:10	16	0,22	0,00	0,00	1014,3	22	295,15	0,00	388,33	0,00	453,52	28,72	0,00
43	7/ago	17:00	17	0,22	0,00	0,00	1014,55	22	295,15	0,00	388,33	0,00	453,64	27,04	0,00
44	8/ago	17:10	18	0,22	0,00	0,00	1015,1	25	298,15	0,00	388,33	0,00	455,27	25,23	0,00
45	10/ago	15:00	20	0,24	0,02	19,61	1013,3	25	298,15	13,10	401,43	15,34	470,05	23,50	7,67
46	13/ago	18:00	23	0,24	0,00	0,00	1015,05	25	298,15	0,00	401,43	0,00	470,61	20,46	0,00
47	14/ago	15:00	24	0,21	-0,03	-23,42	1014,3	25	298,15	-19,65	381,78	-23,04	447,50	18,65	-23,04
48			24	0,04	Alívio								447,50	18,65	
49	15/ago	15:30	25	0,05	0,01	3,81	1014,8	25	298,15	6,55	388,33	7,68	455,13	18,21	7,68
50	16/ago	15:00	26	0,06	0,01	3,81	1014,1	25	298,15	6,55	394,88	7,67	462,48	17,79	7,67
51	17/ago	13:30	27	0,06	0,00	0,00	1013,25	24,5	297,65	0,00	394,88	0,00	462,85	17,14	0,00
52	20/ago	14:30	30	0,08	0,02	19,61	1014,55	24,5	297,65	13,12	408,00	15,40	478,87	15,36	5,13
53	21/ago	15:00	31	0,08	0,00	0,00	1014,75	26	299,15	0,00	408,00	0,00	476,57	15,37	0,00
54	22/ago	14:40	32	0,09	0,01	3,81	1013,45	26	299,15	6,53	414,53	7,62	483,55	15,11	7,62
55	23/ago	14:00	33	0,09	0,00	0,00	1012,95	25	298,15	0,00	414,53	0,00	484,32	14,63	0,00
56	24/ago	14:00	34	0,09	0,00	0,00	1012,15	25	298,15	0,00	414,53	0,00	484,52	14,25	0,00
57	27/ago	17:45	37	0,10	0,01	3,81	1013,45	25	298,15	6,55	421,08	7,67	492,84	13,32	2,56
58	29/ago	14:30	39	0,09	-0,01	-3,81	1014,35	24,5	297,65	-6,56	414,52	-7,71	486,72	12,48	-3,85
59	30/ago	14:00	40	0,09	0,00	0,00	1015,6	25,5	298,65	0,00	414,52	0,00	485,42	12,14	0,00
60			40	0,02	Alívio								485,42	12,14	
61	31/ago	13:30	41	0,02	0,00	0,00	1016,8	25,5	298,65	0,00	414,52	0,00	486,01	11,85	0,00
62	3/set	15:00	44	0,04	0,02	19,61	1015,35	26,5	299,65	13,04	427,56	15,22	499,19	11,35	5,07
63	6/set	14:30	47	0,04	0,00	0,00	1015,8	24,5	297,65	0,00	427,56	0,00	502,47	10,69	0,00
64	11/set	16:30	52	0,05	0,01	3,81	1013,9	26,5	299,65	6,52	434,08	7,59	505,74	9,73	1,52
65	17/set	16:45	58	0,06	0,01	3,81	1012,4	26,5	299,65	6,52	440,60	7,58	512,54	8,84	1,26
66	18/set	14:05	59	0,06	0,00	0,00	1015,2	26	299,15	0,00	440,60	0,00	514,88	8,73	0,00
67			59	0,02	Alívio								514,88	8,73	
68	19/set	16:00	60	0,02	-0,04	-39,23	1014,25	26	299,15	-26,12	414,48	-30,43	483,88	8,06	-30,43
69	20/set	16:00	61	0,02	0,00	0,00	1012,95	26	299,15	0,00	414,48	0,00	483,23	7,92	0,00
70	21/set	15:30	62	0,02	0,00	0,00	1013,75	26	299,15	0,00	414,48	0,00	483,63	7,80	0,00
71	24/set	19:30	64	0,03	0,01	3,81	1015,4	26,5	299,65	6,52	421,00	7,61	491,25	7,68	3,80

Plan1 Reator-1 Reator-2 Reator-3 Reator-4 Gráfico NmlBiogas.gSV

Microsoft Excel - Reatores.Dimensiamento.V10_Tabela VF

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Calibri 11 N I S % 000 55%

A27 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
27															
28															
29															
30	Data	hora	Dias corridos	Leitura da pressão frasco (Kgf/cm²)	Diferença de Pressão (Kgf/cm²)	Conversão Pressão (mbar)	Pressão atm (mbar)	Leitura Temp. (°C)	Conversão Temp. (°K)	Gerado entre t e t+1 (ml)	Acumulado (ml)	Condições CNTP gerado (ml)	Condições CNTP Acumulado (ml)	Cálculo - Taxa geração (ml/dia)	
31	22/jul	17:00	1	0,40	0,40	392,26	1012,4	23	296,15	263,82	263,82	310,53	310,53	310,53	310,53
32			1	0,20	Alívio							310,53	310,53	310,53	
33	23/jul	17:10	2	0,82	0,62	608,00	1012,4	23	296,15	408,93	672,75	481,32	731,85	335,33	481,32
34			2	0,14	Alívio							731,85	731,85	335,33	
35	24/jul	18:00	3	0,32	0,18	176,52	1013,45	23	296,15	118,72	791,47	133,83	932,60	310,87	133,83
36	25/jul	18:00	4	0,32	0,60	588,39	1012,30	22	295,15	397,08	1188,55	463,20	1404,42	351,11	463,20
37			4	0,09	Alívio							1404,42	1404,42	351,11	
38	26/jul	17:00	5	0,46	0,37	362,84	1014,65	24	297,15	243,22	1431,77	285,97	1683,46	336,69	285,97
39			5	0,08	Alívio							1683,46	1683,46	336,69	
40	28/jul	20:00	7	0,78	0,70	686,46	1014,4	26,5	299,65	456,30	1888,07	512,62	2121,10	303,01	256,31
41			7	0,04	Alívio							2121,10	2121,10	303,01	
42	29/jul	18:00	8	0,38	0,34	333,42	1013,8	26,5	299,65	221,63	2109,70	258,19	2457,72	307,21	258,19
43			8	0,04	Alívio							2457,72	2457,72	307,21	
44	31/jul	17:00	10	0,47	0,43	421,68	1014,4	22	295,15	284,57	2394,27	336,78	2833,51	283,35	168,39
45			10	0,06	Alívio							2833,51	2833,51	283,35	
46	1/aago	16:00	11	0,28	0,22	215,74	1013,5	22	295,15	145,59	2539,86	172,15	3003,03	273,00	172,15
47	2/aago	16:10	12	0,39	0,11	107,87	1014,5	22	295,15	72,80	2612,65	86,16	3092,28	257,63	86,16
48	3/aago	16:00	13	0,51	0,12	117,68	1014,65	22	295,15	79,42	2692,08	94,01	3186,77	245,14	94,01
49			13	0,04	Alívio							3186,77	3186,77	245,14	
50	5/aago	10:30	15	0,28	0,24	235,36	1016,8	27	300,15	156,18	2848,26	182,21	3322,81	221,52	31,10
51	6/aago	15:10	16	0,38	0,10	98,07	1014,3	22	295,15	66,18	2914,44	78,31	3448,75	215,55	78,

Microsoft Excel - Reatores.Dimensaoamento.V10_Tabela VF

Microsoft Excel - Reatores.Dimensaoamento.V10_Tabela VF

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Digite uma pergunta

Calibri 11 N I S % 000 40%

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
29																									
30	Data	hora	Dispositivos	Leitura da pressão Gravim (kgf/cm²)	Diferença de Pressão (kgf/cm²)	Consumo Pressão (kgf/cm²)	Pressão alta (kgf/cm²)	Leitura Temp. (°C)	Consumo Temp. (°C)	Gravidade Leitura (kgf/cm²)	Reconstrução (kgf/cm²)	Condutividade CHTP gravel (kgf/cm²)	Condutividade CHTP Reconstrução (kgf/cm²)	Fluxo 1	Fluxo 2	Leitura dos gases					Pressão real (kgf/cm²)				
31	23/Jul	15:00	1	0,12	0,12	0,00	0,12	23	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
32	24/Jul	15:00	1	0,10	0,10	0,00	0,10	23	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
33	25/Jul	15:00	2	0,12	0,12	0,00	0,12	22	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
34	26/Jul	15:00	2	0,11	0,11	0,00	0,11	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
35	27/Jul	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
36	28/Jul	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
37	29/Jul	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
38	30/Jul	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
39	31/Jul	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
40	1/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
41	2/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
42	3/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
43	4/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
44	5/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
45	6/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
46	7/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
47	8/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
48	9/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
49	10/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
50	11/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
51	12/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
52	13/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
53	14/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
54	15/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
55	16/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
56	17/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
57	18/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
58	19/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
59	20/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
60	21/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
61	22/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
62	23/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
63	24/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
64	25/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
65	26/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
66	27/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
67	28/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
68	29/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
69	30/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
70	31/Ag	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
71	1/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
72	2/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
73	3/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
74	4/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
75	5/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
76	6/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
77	7/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
78	8/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,38	274,38	323,38	323,38	323,38	323,38	0	26,4	0	100	>500					
79	9/Set	15:00	3	0,10	0,10	0,00	0,10	24	23,15	274,384															

ANEXO I: Metodologia para Determinação de Substâncias Orgânicas

Adaptado segundo NBR7989 - *Pasta Celulósica e Madeira - Determinação de Lignina Insolúvel em Ácido*.

O método envolve três extrações preliminares: a primeira com álcool etílico para remoção de taminos, no caso da madeira; depois com ciclohexano para remoção de resinas, óleos, graxas e ceras; e outra com água quente para remoção de materiais restantes. O aparelho de extração utilizado será do tipo soxhlet.

O filtrado e os resíduos do ensaio de lignina são utilizados para outras determinações: celulose, hemicelulose, lignina solúvel e insolúvel, teor de areia e inorgânicos, lipídios e porcentagem de materiais solúveis em água quente.

1ª Parte: Extração com Solvente Apolar

Devem ser efetuadas as pesagens dos materiais que serão utilizados na primeira extração. Padronizou-se 10g. Em seguida, preparar o cartucho com papel de filtro, colocar a amostra com ajuda de funil e cobrir com um chumaço de algodão. Montar o soxhlet e encher o balão até a metade com o **ciclohexano** e colocar algumas bolinhas de vidro (cerca de seis). O aparelho deverá ser desligado decorrido quatro horas. O líquido que fica no balão corresponde ao solvente e aos resíduos solúveis. O rotaevaporador deve ser utilizado para separar o solvente e os extrativos apolares.

2ª Parte: Extração com Solvente Polar

Montar o aparelho de soxhlet e repetir os passos da extração com o ciclo mudando apenas o solvente, que nesse caso será o álcool etílico PA.

3ª Parte: Extração com Água Quente

Pesar o béquer e a amostra do cartucho da 2ª Parte. Em seguida, transferir a amostra para o béquer e adicionar água destilada (aproximadamente 120mL). Deixar a amostra em repouso por três horas. Após esse período, colocar o béquer em banho-maria por 1 hora. Usar o aquecedor e tampar a vidraria com um vidro de relógio. Aquecer 100mL de água destilada e usar para filtração do extrativo. Para ajudar na filtragem, usar álcool etílico. Posteriormente, deixar a amostra secar ao ar. Nessa amostra provavelmente terá lignina solúvel. O filtrado deve ser rotaevaporado para

obtenção da massa de extrativos em água quente presente na amostra, lembrar de pesar o balão.

4ªParte: *Determinação de Lignina Insolúvel*

Transferir a amostra seca para um béquer. Adicionar lentamente 150mL de ácido sulfúrico 72%, por aproximadamente quatro minutos. Resfriar a amostra (manter entre 11°C e 15°C) e deixar homogeneizar com agitação por duas horas. Em seguida, transferir para um balão de fundo redondo. Diluir o material em 560mL de água destilada. Reservar um pouco da água para auxiliar na transferência. Posteriormente, ferver por 4h usando um condensador de refluxo e deixar o material sedimentar. Após esse processo, transferir o precipitado para um erlenmeyer, filtrar e lavar com água destilada e colocar o extrativo pra secar na estufa. Após esfriar, pesar. O resíduo final contém lignina insolúvel, areia e inorgânicos.

Teor de cinzas: Usado para determinar o percentual de areia e inorgânicos.

Pesar 1g da amostra inicial. Colocar na mufla (600° C). Após a queima restará um resíduo de coloração marrom clara (cor de areia) e algumas partes brancas (metais).