



**ANA MARIA FRANÇA CUTRIM**

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO  
BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES URBANOS**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**ANA MARIA FRANÇA CUTRIM**

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Professor Hosmany Mauro Goulart Coelho

**LAVRAS - MG**

**2012**

**ANA MARIA FRANÇA CUTRIM**

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

(Examinador 1)

\_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

(Examinador 2)

\_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

(Examinador 3)

Orientador

Professor Hosmany Mauro Goulart Coelho

**LAVRAS - MG**

**2012**

Cutrim, Ana Maria França

Aproveitamento energético do biogás gerado no tratamento de efluentes urbanos. São Luís, 2012.  
.58 f.

**Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, 2012.**

1. Biogás 2. Resíduos Sólidos 3. Esgotos sanitários 4. Energia 5. São Luís

CDU

Às nossas famílias, aos mestres  
e a todos os que contribuíram  
para o sucesso de nossas vidas.

*“Ousar é saltar para o desconhecido, saindo dos trilhos viciados, abrindo espaço para o novo, para isso é necessário desapego”*

*Autor desconhecido*

## **AGRADECIMENTOS**

Para elaboração do presente Trabalho de Conclusão de Curso contei com a ajuda serena de Deus e de várias pessoas para as quais agradeço:

Ao meu amigo Daniel Rocha, engenheiro ambiental, que me incentivou cursar a pós-graduação em Formas Alternativas de Energia;

À equipe da Universidade Federal de Lavras que propiciou a realização do curso de pós-graduação;

A todos os autores que constam da lista de referências; e

À minha família pela compreensão e apoio.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAEMA	Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão
COLISEU	Companhia de Limpeza e Serviços Urbanos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia e estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RALF	Reator anaeróbio de lodo fluidizado
RDO	Resíduos domiciliares e comerciais
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAD 69	<i>South American Datum</i>
SEMOSP	Secretaria Municipal de Obras e serviços Públicos
UASB	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
URPV	Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>



## RESUMO

O presente estudo visa analisar o aproveitamento energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos e efluentes sanitários, utilizando-se de estimativas de geração do biogás na cidade de São Luís (MA) com o intuito de conhecer o potencial de utilização da energia proporcionada na melhoria dos tratamentos dos efluentes líquidos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e Unidades de Tratamento de Resíduos Sólidos. A metodologia foi baseada em bibliografias relacionadas ao assunto, estudos populacionais, quantitativos e destinos dos resíduos sólidos urbanos e de esgotos sanitários. Utilizou-se métodos de cálculo que resultam na estimativa da quantidade de metano gerado por quantidade de resíduo sólidos domiciliares e por quantidade de esgotos sanitários produzidos pela população de São Luís (MA), onde os principais parâmetros utilizados foram: taxa de geração de resíduos domiciliares; fração de resíduos domiciliares destinados à aterros; potencial de geração e massa específica do metano; taxa de geração de demanda bioquímica de oxigênio; fração de esgotos tratada; e poder calorífico inferior do metano. Dentro desse contexto a presente pesquisa constatou que a estimativa de geração de metano em São Luís é de 6,7 mil toneladas ao ano com potência de energético disponível de 16 mil megawatts por ano. A situação encontrada justifica a utilização da energia provinda do biogás para otimização dos tratamentos de efluentes líquidos por representar ganho econômico e ambiental ao utilizar o metano resultante dos processos anaeróbios.

Palavras Chaves: Biogás. Resíduos Sólidos. Esgotos sanitários. Energia. São Luís.

## **ABSTRACT**

This essay aims to analyze biogas' using energy generated by municipal waste and sanitary sewers consulting estimates of biogas' generation in the city of São Luís (MA), aiming to know the potential of energy using provided for betterment of sanitary liquids' treatments from Sewage Disposals and Municipal Waste Treatment Units. The methodology was based upon literature related to this matter, population and quantitative studies and municipal waste and sanitary sewers' destinations. Calculation methods were used, which resulted on the estimation of the quantity of methane generated by the quantity of home municipal waste and by the quantity of sewage produced by São Luís' (MA) population, where the main used parameters were: rate of municipal waste generation; fraction of municipal waste destined to landfill; methane's generation's potential and specific mass; rate of generation of oxygen's biochemical demand; fraction of treated sewage; and methane's low calorific value. Upon that context, this essay has concluded that methane's generation estimate in São Luís is of 6.7 tons a year with an energy using available of 16 thousand megawatts a year. This situation justifies using the energy from biogas for the betterment of sanitary sewers because it represents economic and environmental gain by using methane from anaerobic processes.

Keywords: Biogas. Municipal waste. Sanitary sewers. Energy. São Luís.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	OBJETIVOS .....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específicos .....	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
3.1	Histórico .....	13
3.2	Esgotamento Sanitário de São Luís.....	14
3.3	Resíduos sólidos urbanos.....	16
3.3.1	Aspectos da geração de resíduos sólidos .....	17
3.3.2	Coleta e Transporte de RSU.....	18
3.3.3	Principais impactos causados por RSU.....	18
3.3.4	Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos .....	20
3.3.5	Legislação Municipal.....	22
3.3.6	Manejo dos resíduos sólidos urbanos de São Luís .....	24
3.4	Geração de biogás .....	26
3.4.1	Geração em Estações de Tratamento de Esgoto .....	30
3.4.2	Geração em Aterros Sanitários .....	31
3.5	Captação do biogás .....	32
3.5.1	Estações de tratamento de esgoto.....	32
3.5.2	Aterros sanitários .....	33
3.6	Efluentes líquidos e biogás.....	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	Materiais .....	37
4.2	Métodos .....	37
4.3	Caracterização da região de estudo.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1	Cálculo da geração de metano por resíduos sólidos domiciliares... ..	42
5.2	Cálculo da geração de metano por esgotos sanitários.....	44
5.3	Cálculo da potência disponível .....	45
5.4	Uso energético do biogás no tratamento de efluentes líquidos .....	46
6	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS .....	49
	ANEXO .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas anaeróbicos de tratamento de esgotos e de resíduos sólidos contribuem com aproximadamente 12% do metano emitido na atmosfera global. A queima do biogás formado por até 70% de metano, portanto, é de extrema importância no controle e amenização dos impactos ambientais, visto que o metano polui 21 vezes mais que o dióxido de carbono.

O biogás permite a produção de energias elétrica e térmica. Em aterros sanitários é aplicado como fonte energética, onde são registrados usos na indústria, em caminhões de coleta, veículos da frota pública e doméstica. Experiências realizadas no processamento de secagem e higienização de lodos de estações de tratamento de esgotos utilizam o biogás na produção de energia térmica (CASSINI, 2003).

Como o biogás é produzido pela degradação de resíduos orgânicos, o consideramos uma fonte de energia renovável, daí a necessidade de aproveitamento desse potencial energético ao invés de simplesmente queimá-lo ou lançá-lo diretamente na atmosfera.

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos envolve aspectos sociais no que diz respeito às comunidades que vivem próximos de unidades de tratamento de resíduos. As pessoas que vivem em regiões onde existem essas unidades absorvem os impactos dos procedimentos necessários ao tratamento dos resíduos sólidos, dentre eles tráfego de veículos pesados, carga e descarga e movimento de terra. Além das medidas básicas de minimização dos impactos gerados, o aproveitamento do biogás gerado representará uma possibilidade de retorno positivo para a comunidade.

O uso da energia aproveitada da geração do biogás possibilita ganhos ambientais à medida que pode ser utilizada no melhoramento das unidades de tratamento de efluentes, além de reduzir a carga de gases causadores do efeito

estufa. Dependendo da capacidade do centro de tratamento, o excedente de energia poderá ser destinado à rede pública de fornecimento de energia elétrica.

A sustentabilidade dos projetos de geração de energia alternativa depende da associação com programas de coleta seletiva e de destinação adequada dos resíduos.

O metano existente no biogás gerado a partir de sistemas anaeróbios ocupa, em média, 55% de seu volume molar. Em São Luís estima-se que o tratamento anaeróbio de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) pode gerar cerca de 6 mil toneladas de metano ao ano. Em menor quantidade, o tratamento dos esgotos sanitários domésticos e comerciais de forma anaeróbia pode gerar 340 toneladas de metano ao ano com potencial de aproveitamento energético nos processos de tratamento que têm maior eficiência nas próprias Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

A escassez de recursos naturais que possam ser utilizados como fontes energéticas, favorece o aproveitamento do biogás como alternativa para suprir as necessidades energéticas de processos que visam reduzir a carga orgânica e/ou higienizarem efluentes e lodos sanitários tanto no tratamento de esgotos domésticos como de efluentes líquidos oriundos do tratamento de resíduos sólidos domiciliares.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar o aproveitamento energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos e efluentes sanitários para uso no melhoramento dos tratamentos em unidades de disposição final de resíduos sólidos urbanos e em estações de tratamento de esgotos.

### **2.2 Específicos**

Caracterizar a geração e captação do biogás em sistemas de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de esgotos sanitários;

Estimar a geração de biogás a partir da geração de resíduos sólidos urbanos de São Luís (MA); e

Estimar a geração de biogás a partir da geração de esgotos sanitários na cidade de São Luís (MA).

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Histórico**

As atividades de saneamento básico priorizavam a construção de estruturas de abastecimento de água, ou seja, a coleta e tratamento de água bruta e armazenamento e distribuição de água para a população. Os esgotos domésticos e os resíduos sólidos não recebiam solução de tratamento e a preocupação com essas questões se iniciou a partir da descoberta de doenças vinculadas a esses rejeitos. A preocupação com os resíduos sólidos urbanos (RSU) tem maior importância a partir da fomentação da Política Nacional de Saneamento em 1995 quando a visão de saneamento ambiental foi incorporada, tratando, de forma integrada, os componentes que influenciam o ambiente como água, esgoto, resíduos sólidos, drenagem e controle de vetores. No entanto, a importância dada aos resíduos sólidos ainda era insuficiente. Os municípios gerenciavam os RSU sem o apoio das instituições federais e conseqüentemente houve um aumento dos impactos gerados por um precário manejo dos resíduos sólidos (PINTO, 1999).

Carvalho Júnior (2006) informa que a geração de resíduos tem se tornado um dos maiores problemas da humanidade em razão do crescimento dos padrões de consumo. Baseado nos temas da Agenda 21, o autor menciona que a previsão para o ano 2025 é que a geração de resíduos seja 5 vezes maior que a atual.

Em estudos realizados com base no Censo Demográfico, Espírito Santo (2006) observou que em São Luís 73 % dos domicílios tinham coleta pública dos resíduos sólidos gerados. O percentual restante, 27%, não recebia esse serviço e como resultado os resíduos eram enterrados, queimados, lançados em

terrenos baldios e corpos hídricos, dentre outros destinos inadequados. Os mesmos estudos apontam os bairros do município com os piores índices de coleta, são eles: Cidade Olímpica, Santa Clara, Cidade Operária, Turu, bairros periféricos ao Rio Anil e da região Itaqui-Bacanga.

Os serviços de limpeza pública em São Luís são separados em duas fases. A primeira fase iniciou em 1975 quando a Companhia de Limpeza e Serviços Urbanos (COLISEU) gerenciava e operacionalizava a limpeza pública. Diante da incapacidade de suprir a crescente demanda da geração de resíduos, em 2002 a Prefeitura de São Luís passou para a Secretaria de Obras do Município a responsabilidade pelo gerenciamento da limpeza pública e realizou a contratação de duas empresas de capital privado para dividir com a COLISEU a operacionalização da limpeza pública; foi o início da segunda fase, que é caracterizada pelo predomínio dos serviços terceirizados de limpeza pública municipal (ESPÍRITO SANTO, 2006).

### **3.2 Esgotamento Sanitário de São Luís**

Em São Luís a coleta de esgotos sanitários se iniciou por volta do ano de 1911. Nessa época os efluentes eram lançados ao mar sem tratamento e através de emissário submerso. Na década de 1970 iniciaram-se novos projetos de implantação da rede de captação dos esgotos sanitários, porém o destino dos efluentes não tinha solução de tratamento. O sistema de esgotamento sanitário da cidade é do tipo separador absoluto, operado pela Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA), empresa de economia mista contratada em regime de concessão (ANJOS NETO, 2006).

A cidade é dividida em 4 bacias: Paciência, Bacanga, Anil e Oceânica. Existem apenas duas estações de tratamento de esgotos: a Estação de



Tratamento de Esgotos do Jaracati (ETE-Jaracati) localizada na Bacia do Rio Anil e a Estação de Tratamento de Esgotos do Bacanga (ETE-Bacanga), localizada na bacia do Rio Bacanga (ANJOS NETO, 2006).

A bacia do Rio Anil tem vazão de 283,36 L/s (cálculo baseado na população, cota per capta e coeficiente de retorno). A ETE-Jaracati tem capacidade nominal de 178,23 L/s e opera com vazão afluente de 95 L/s (ANJOS NETO, 2006).

As duas estações de tratamento de esgotos realizam três etapas de tratamento: preliminar, primário e desinfecção, conforme Figura nº 01.

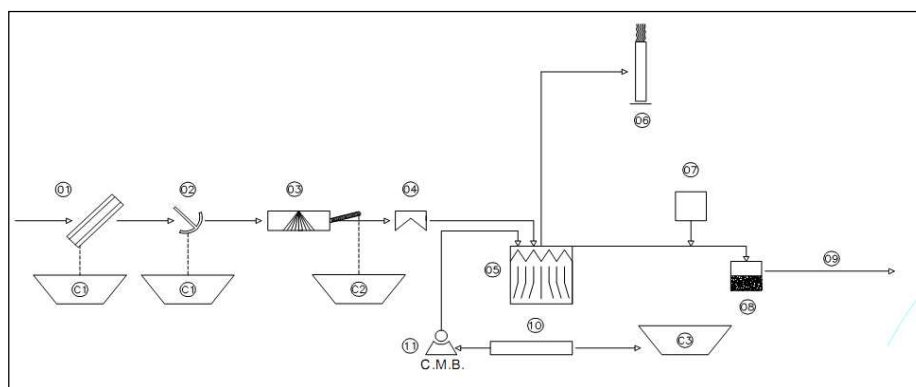


Figura 01: Esquema do processo de tratamento das ETEs de São Luís, adaptado de ANJOS NETO, 2006.

- 1º. Grade Grossa
- 2º. Grade Curva Mecanizada
- 3º. Desarenador
- 4º. Medidor de Vazão
- 5º. Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (RAFA)
- 6º. Queimador de Gás
- 7º. Gerador de Ozônio
- 8º. Tanque de Contato
- 9º. Efluente Final
- 10º. Leito de Secagem do Lodo
- 11º. Elevatória de Líquido Percolado
- 12º. Caçamba de Material Gradeado
- 13º. Caçamba de Areia
- 14º. Caçamba de Lodo Desidratado

Fonte: ANJOS NETO (2006)

No tratamento preliminar os efluentes sanitários passam pela grade grossa, pela grade curva mecanizada e pelo desarenador para retirada dos resíduos sólidos grosseiros. No tratamento primário os efluentes são recalçados para uma estação elevatória que por sua vez alimenta todos os reatores anaeróbios de fluxo ascendente. A estação elevatória transporta o esgoto bruto até a parte superior que alimenta vários módulos por um conjunto de canais e tubulações que têm por finalidade conduzir esse esgoto bruto ao fundo do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) de forma uniforme (ANJOS NETO, 2006).

### **3.3 Resíduos sólidos urbanos**

Castilhos Júnior (2006) afirma que resíduos sólidos têm características químicas e biológicas que variam de acordo com a situação socioeconômica, cultural, política e tecnológica de uma população. O autor recomenda o estudo das características dos resíduos sólidos como forma de propiciar um planejamento das atividades de manejo com o fim de reduzir os impactos ambientais associados à geração de resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos apresentam-se nos estados sólidos ou semissólidos, e podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também são considerados resíduos sólidos, os materiais resultantes do tratamento de efluentes como o lodo de Estações de Tratamento de Esgotos, de equipamentos de controle de poluição atmosférica, os líquidos que não possam ser jogados em rede pública ou em corpos d'água, ou que não têm solução de tratamento ou que não haja recursos disponíveis para tratamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Quanto ao grau de periculosidade, os resíduos são classificados de acordo com suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas à medida que causam risco à saúde pública por mortalidade, doenças ou aumento das mesmas ou risco ao meio quando os resíduos forem mal gerenciados. Quanto à toxicidade, os resíduos sólidos são classificados quanto menor ou maior for o grau de efeitos adversos ou consequências na interação com organismos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Philippi (2005) classifica os resíduos sólidos, segundo a origem, em Resíduos sólidos domiciliares; Resíduos sólidos industriais; Resíduos sólidos comerciais; Resíduos sólidos de serviços de saúde; Resíduos sólidos de serviços de transporte; e Resíduos sólidos de construção civil. Brasil (2004) acrescenta os resíduos sólidos resultantes da limpeza pública de vias e logradouros públicos e resíduos provenientes de abatedouros e de estábulos.

### **3.3.1 Aspectos da geração de resíduos sólidos**

O manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) merece especial atenção por se tratar de questão de relevância social, econômica e ambiental. Segundo Marques (2005), a sociedade tem como característica marcante o consumo incentivado pelo crescimento rápido, pela produção e distribuição massificada de bens. Dessa forma, o consumidor exaure o ambiente ao adquirir bens desnecessários e fabricados com recursos que comprometem o meio. Por isso, os resíduos sólidos devem ser objeto de estudos aprofundados nos vários aspectos de seu ciclo, sejam eles a geração, o recolhimento, manuseio, transporte e destinação. O mesmo autor estabelece uma relação direta com o volume de resíduos e o nível de renda, defendendo que quanto maior a renda, maior a quantidade de lixo produzida.

Os resíduos sólidos constituem problema sanitário porque favorecem a proliferação de vetores e roedores os quais são causadores de doenças, tais como diarreias infecciosas, amebíase, salmoneloses, helmintoses como ascaridíase, teníase e outras parasitoses. Além disso, o homem é contaminado pelo contato direto com os resíduos sólidos ou pela água poluída por estes (BRASIL, 2004).

### **3.3.2 Coleta e Transporte de RSU**

A operação de coleta e transporte de resíduos sólidos é fundamental para uma cidade e deve contar com a participação da sociedade para que seja realizada com sucesso. O bom acondicionamento que cada município faz de seus resíduos influirá no processo de recolhimento dos mesmos, evitando-se acidentes com objetos perfuro-cortantes, proliferação de vetores, odores e degradação da paisagem. Quando a população é incentivada a acondicionar surgem questões relacionadas à segregação dos resíduos que acarretam na redução da geração e preparação para uma futura coleta seletiva (MONTEIRO, 2001).

As falhas no serviço de coleta podem resultar em acúmulo de resíduos e consequente proliferação de vetores e poluição visual e atmosférica. Deve-se incluir nos projetos de coleta a adequação as necessidades da população quanto à frequência, ponto, horário e forma de coletar, propiciando menores incômodos e viabilidade de execução (PHILIPPI JR. e AGUIAR, 2005).

### **3.3.3 Principais impactos causados por RSU**

Catapreta e Heller (1999) realizaram estudos que mostram uma associação entre a ausência da coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e

a ocorrência de doenças epidemiológicas no município de Belo Horizonte. Os estudos apontam que crianças convivendo com RDO amontoados próximo às suas residências são mais suscetíveis a doenças do que aquelas não expostas, demonstrando a necessidade de universalização dos serviços de coleta como forma de reduzir o número de casos de doenças que acometem a população infantil residente em locais sem infraestrutura adequada, tais como favelas e palafitas.

Os resíduos sólidos dispostos inadequadamente sem qualquer tratamento causam a modificação da paisagem natural e artificial, assoreamento e eutrofização das águas, redução da qualidade do ar pela emissão de gases resultantes da decomposição da matéria orgânica e pela queima, proliferação de moscas, baratas, ratos, dentre outros vetores. Outro agravante da disposição irregular é a presença de catadores realizando uma atividade com sérios riscos de transmissão de doenças (MOTA, 2006).

Quanto à proliferação da fauna que se alimenta direta ou indiretamente dos resíduos sólidos expostos, cita-se:

[...] a presença de determinadas espécies de ave, foi considerada fundamental para o controle desses insetos. Neste caso específico aliam-se duas espécies principais: urubu e garça. A presença do familiar urubu em aterros é bastante típica, contudo a existência de garças merece maiores estudos. Presume-se que a presença das garças auxilia no controle de insetos, uma vez que suas larvas constituem seu principal alimento. Os urubus por sua vez desenvolvem sua função de eliminar boa parte do material orgânico, principalmente restos de carnes, que são substratos preferenciais para o tipo mais comum de moscas em aterros ou lixões (HAMADA, 1997, p.11).

A disposição inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ao longo das calçadas, estradas de rodagem, praças e demais áreas causam transtornos no sistema de drenagem de águas pluviais. Parte considerável desses resíduos é carregada para dispositivos de drenagem, como sarjetas, bocas de lobo, poços de

visita, dissipadores de energia, canais, galerias e reservatórios de detenção e retenção, obstruindo as entradas com conseqüente inundação (TUCCI, 2003).

Segundo Pinto (1999) os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em geral não são perigosos, porém causam impactos significativos em razão dos grandes volumes gerados, motivo pelo qual devem ser realizados estudos dos volumétricos frente ao desenvolvimento pelo qual passa o Brasil. O autor alerta para problemas ocorridos em Hong Kong em 1993 e nos Estados Unidos na década de 90 quando houve incremento superior a 200% de RCD.

A disposição inadequada de RCD ao longo das vias e logradouros obstrui a passagem de pedestres e veículos além de assorear sarjetas e demais dispositivos de drenagem. Comumente os RCD são utilizados no aterramento de áreas pantanosas e margens de rios para ocupação urbana, intensificando enchentes em municípios de médio e grande porte. Esse hábito faz com que grandes disposições irregulares de resíduos situem-se nas margens dos canais naturais de drenagem (PINTO, 1999).

#### **3.3.4 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**

Países europeus enfrentam problemas relacionados ao gerenciamento dos resíduos sólidos em razão de existirem poucos espaços disponíveis para disposição final, obrigando esses países a desenvolverem formas de redução da produção de resíduos. A União europeia estabelecerá um percentual de redução de 35% de resíduos sólidos destinados aos Aterros Sanitários (FERREIRA e TAMBOURGI, 2009).

Segundo Zerbock (2003), os países em desenvolvimento e os industrializados têm problemas diferentes quanto aos resíduos sólidos urbanos, principalmente em sua composição. O autor relata que países com

predominância de pessoas com baixa renda geram de 0,40 a 0,60 kg/dia, enquanto que nos países industrializados as pessoas geram de 0,70 a 1,8 kg/dia. Apesar da pequena geração *per capita*, os países em desenvolvimento não tem controle sobre os gastos com serviços de limpeza e na maioria das vezes o sistema é entregue a empresas privadas.

Chung (2009) em estudos sobre resíduos volumosos no Japão mostrou que esses resíduos não são geralmente pesquisados adequadamente apesar da aparente facilidade em serem contabilizados. Esses estudos pretendiam quantificar os resíduos volumosos através dos locais de disposição final, no entanto houve dificuldade quanto à segregação dos resíduos volumosos de outros de dimensões menores, o que obrigou o autor a realizar estimativas visuais.

No Brasil os municípios são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, ou seja, educação ambiental, coleta, transporte, reciclagem e disposição final. A esfera federal e estadual produz legislação específica, controla e fiscaliza o gerenciamento através de órgãos reguladores. Philippi (2005) informa que os principais instrumentos legais são a Política Nacional de Saneamento, a Política Nacional de Meio Ambiente e resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), além da Política Nacional de Resíduos Sólidos já aprovada na Câmara de Deputados Federais e em tramitação no Senado.

Relatam-se ainda experiências exitosas no município de Belo Horizonte (MG). Segundo Lopes (2003), verificou-se uma redução de descartes clandestinos de resíduos de construção e diminuição de despesas municipais no recolhimento e destinação final desses resíduos em razão da implantação de locais apropriados para recepção de forma gratuita e administrada pelo poder público. A mesma autora relata que a disposição inadequada não é onerosa para o poder público, que não se esforça para resolver problemas dessa ordem em

razão da população não reclamar por destinação apropriada dos resíduos sólidos urbanos.

### **3.3.5 Legislação Municipal**

São Luís realiza a gestão de limpeza pública pautada na legislação acima listada e municipal, como o Código de Posturas, Plano Diretor, programa de reciclagem e resíduos não convencionais e gestão de resíduos volumosos e de construção. O Código de Posturas do Município de São Luís contém determinações quanto ao manejo de RSU: proíbe o lançamento em dispositivos de drenagem; proíbe a queima sem controle; proíbe aterros em vias públicas que utilizem resíduos; estabelece formas de acondicionamento para coleta; distingue como resíduo particular os entulhos de construções, os oriundos de fábricas e oficinas, excrementos de animais, alguns resíduos comerciais e os resíduos vegetais de jardins e quintais particulares; estabelece que resíduos particulares mencionados devam ser de responsabilidade do gerador; e define sobre o acondicionamento em habitações multifamiliares (SÃO LUÍS, 1968).

A legislação municipal de São Luís relacionada aos resíduos sólidos também inclui a Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006 que dispõe sobre o plano diretor do município estabelecendo dentre outros instrumentos a implantação de Sistema integrado de gestão dos resíduos sólidos (SÃO LUÍS, 2006a).

Na Lei 4.387/2004 estabelecem-se regras para armazenamento de resíduos com potencial de reciclagem e para empresas do ramo. Também determina que os resíduos não convencionais sejam coletados e transportados por empresas credenciadas junto ao órgão público indicado pela Prefeitura; são eles: I) Podas de árvores; II) Móveis e eletrodomésticos sem utilidades; III) Entulhos, restos de materiais de construção e similares; IV) Resíduos oriundos



de limpeza de fossas sanitárias; e V) Outros resíduos não enquadrados como resíduos domésticos (SÃO LUÍS, 2004).

A Lei 4.653/2006 é baseada na Resolução CONAMA 307/2002 que versa essencialmente sobre resíduos da construção civil e demolição (RCD). Na referida Lei são estabelecidas as responsabilidades dos geradores e transportadores de RCD, bem como da Prefeitura de São Luís (SÃO LUÍS, 2006b).

Os geradores e transportadores são responsáveis pelo acondicionamento, coleta, transporte e destinação adequada dos RCD gerados. Os serviços de transporte devem ser credenciados na Prefeitura. A trajetória dos resíduos de construção deve ser registrada pelo Controle de Transporte de Resíduos (CTR) que consiste em documento emitido pelo transportados de resíduos que fornece informações sobre os resíduos gerados com origem, tipo, quantidade, e destino (SÃO LUÍS, 2006b).

Segundo a Lei 4.653/2006, o papel da Prefeitura de São Luís é criar as condições necessárias para que geradores e transportadores possam cumprir a legislação. Dessa forma a Prefeitura deve manter cadastro de empresas grandes geradoras e de empresas transportadoras, além de viabilizar locais para reciclagem e destino final de RCD. Para pequenos geradores, definidos pela referida Lei como aqueles que geram até 2m<sup>3</sup>, a Prefeitura deve implantar Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPVs) que são espaços projetados para receber e acondicionar temporariamente os resíduos volumosos e de construção civil de forma segregada (SÃO LUÍS, 2006b).

### **3.3.6 Manejo dos resíduos sólidos urbanos de São Luís**

No gerenciamento dos serviços de limpeza pública do Município de São Luís, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são definidos como o conjunto heterogêneo dos resíduos gerados pelas atividades humanas no espaço urbano, classificados em: domiciliares, comerciais, públicos e especiais (SÃO LUÍS, 2008).

Os resíduos sólidos domiciliares são aqueles derivados da ocupação de imóveis residenciais de quaisquer naturezas como sobras de alimentos, embalagens, papéis, papelões, vidros, trapos, dentre outros. Os comerciais são aqueles derivados das atividades inerentes à comercialização de bens e/ou à prestação de serviços. Os resíduos públicos são aqueles produzidos em vias públicas, praças e jardins e os resultantes das atividades de limpeza pública executadas em quaisquer vias e/ou logradouros públicos, destacando-se os serviços de varrição. A coleta e transporte desses resíduos ocorrem em caminhões compactadores com capacidade de 15 m<sup>3</sup> ou caminhões abertos de 6 m<sup>3</sup> e 5 m<sup>3</sup>. Na coleta convencional percorrem-se as ruas e avenidas trafegáveis de porta em porta. Na coleta alternativa, os resíduos são coletados com caminhões de menores dimensões ou são confinados em pontos onde o caminhão compactador possa coletá-los (SÃO LUÍS, 2008).

A Prefeitura de São Luís considera resíduos sólidos urbanos especiais aqueles cuja geração diária, em uma mesma fonte geradora, exceda o volume de 100 litros; ou que, por suas características qualitativas ou dimensionais intrínsecas, exijam cuidados especiais, a exemplo dos resíduos industriais, de serviços de saúde e de construção civil (SÃO LUÍS, 2008).

Os resíduos públicos não coletados por caminhões compactadores compreendem os provenientes da capina, roçagem e raspagem de terra; resíduos diversificados, ou seja, vários tipos de resíduos misturados ou não, como os

entulhos da construção civil, animais mortos, lixo domiciliar, podas, móveis, eletrodomésticos, pneus, dentre outros que são descartados em terrenos baldios e logradouros públicos; restos da comercialização existente em feiras e mercados públicos; e os provenientes da limpeza da faixa de praia (SÃO LUÍS, 2008).

Trabalhos de caráter sócio-ambiental também são desenvolvidos com o intuito de promover um melhor acondicionamento dos resíduos pelos munícipes, como incentivar a disponibilização dos resíduos nos horários corretos de coleta, sensibilizar para redução, reutilização e reciclagem e apoiar os catadores de materiais recicláveis (SÃO LUÍS, 2008).

Existe parceria com uma organização não governamental, a Associação Comunitária da área Itaqui-Bacanga (ACIB), responsável por administrar os recursos do Projeto de Educação para Limpeza Urbana (ELU). Esta parceria originou-se do rol de obrigações da Companhia Vale do Rio Doce como contrapartida pelos impactos da implantação e operação da Usina de Pelotização nas proximidades do bairro Fumacê. A parceria com a Prefeitura resultou primeiramente na instalação de lixeiras em ruas de difícil acesso para deposição dos resíduos domiciliares a serem coletados. Posteriormente foram instaladas papeleiras ao longo dos corredores principais com a finalidade de evitar o lançamento de pequenos resíduos como copos descartáveis, guardanapos, pequenas embalagens, dentre outros semelhantes. Atualmente o Projeto ELU sensibiliza a população da área Itaqui-Bacanga para a coleta seletiva, colocando em locais de disposição inadequada tonéis com as cores da reciclagem para que a população deposite os resíduos de forma segregada (SÃO LUÍS, 2008).

Nas praias, os resíduos são removidos de forma manual ou mecanizada, dependendo se estiverem sobre a faixa de areia, nas calçadas ou vias de rodagem. A areia deslocada pelos ventos não é recolhida, mas sim deslocada para a faixa de praia por determinação dos órgãos ambientais (SÃO LUÍS, 2008).

O destino dos resíduos coletado é o Aterro Municipal da Ribeira, que atualmente está sem licença de operação. No referido Aterro, os resíduos são acomodados em células, compactados por tratores de esteira e cobertos com material inerte. Os efluentes líquidos são coletados através de uma rede interligada de drenos horizontais que é construída ao longo das células de operação; estes são encaminhados a uma lagoa de tratamento anaeróbio e depois a uma facultativa. Os gases gerados pela decomposição dos resíduos são coletados por drenos verticais ligados aos drenos horizontais e lançados à atmosfera sem que haja a queima necessária para transformar metano em dióxido de carbono (SÃO LUÍS, 2008).

Segundo Batistella (2010), para fins de contratação e controle da prestação dos serviços de limpeza pública a cidade foi dividida em quatro áreas: “A”, “B”, “C” e “D”. Por sua vez, essas áreas são agrupadas em três lotes: Lote 01, constituído pelas áreas “A” e “D”; Lote 02, constituído pela área “B”; e Lote 03, constituído pela área C. No ano base de 2009 foram coletadas, 243.413 toneladas de Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) no município de São Luís.

### **3.4 Geração de biogás**

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzida pelo processo fermentativo da biomassa gerando metano, gás carbônico e outros gases, presentes em menor proporção, variável em função da composição do resíduo a ser tratado e das condições do reator (CASSINI, 2003, apud Pierre & Quezada Doria, 1995).

O gás metano é o combustível do biogás, portanto será mais puro quanto maior for o seu teor, estando seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade existente na mistura gasosa. É um gás combustível produzido por

fontes antropogênica e natural. Como fontes naturais citam-se os pântanos, oceanos e águas doces. Dentre as fontes que podem ser controladas ou influenciadas pelo homem temos as plantações de arroz, a fermentação entérica, a queima de biomassa, o manejo de resíduos, o uso de combustíveis fósseis e as perdas de gás natural. O manejo de resíduos inclui como fontes principais de emissão de metano o tratamento de efluentes e a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários.

Aproximadamente 90% do metano emitido para a atmosfera são gerados a partir da decomposição de biomassa; 10% provém dos fósseis, como o petróleo (COSTA, 2006).

O “gás dos pântanos” foi descoberto por Shirley em 1667. A primeira fermentação anaeróbia foi realizada por Ulysses Gayon em 1883, quando foram produzidos 100 litros de gás por metro cúbico de uma mistura de esterco e água. A produção se iniciou em 1895 com um digestor de lodos da decantação de esgotos da cidade de Exeter, para iluminação das ruas (MACÊDO, 2006 apud Castilhos Jr., Medeiros, Firta, et al., 2003).

Até pouco tempo, o biogás era simplesmente encarado como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbia de lixo urbano e resíduo animal e em estações de tratamento de efluentes domésticos (CASSINI, 2003).

Nas décadas de 1950 e 1960, a relativa abundância das fontes de energia tradicionais desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos; apenas em países com poucos recursos de capital energia, como a Índia e China, o biogás desempenhou papel de certa importância, sobretudo em pequenos aglomerados rurais. A partir da crise energética dos anos 1970, o gás metano dos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse geral, conduzindo a um aumento de sua produção nos países europeus (CASSINI, 2003).

Obtido a partir de um processo que degrada a matéria orgânica, possibilitando a produção de energia térmica e elétrica, o biogás proporciona novas aplicações para os resíduos das explorações agropecuárias, da atividade industrial e esgotamento sanitário (CASSINI, 2003).

O biogás é mais leve do que o ar; diferentemente do butano e do propano, ele apresenta menores riscos de explosão na medida em que sua acumulação se torna mais difícil. Sua baixa densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe volume significativo e que sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em relação a transporte e utilização. O poder calorífico inferior (PCI) do biogás é de cerca de 5.500 kcal/m<sup>3</sup>, quando a proporção de metano é de aproximadamente de 60% (CASSINI, 2003).

A produção do biogás é realizada pelas bactérias, portanto os fatores que influenciam na sobrevivência das mesmas afetam, também, na formação do biogás. Dessa forma a presença ou não de oxigênio, as variações de temperatura, a alcalinidade, o pH, o teor de água e carga equilibrada de nutrientes (CASSINI, 2003).

A degradação anaeróbia converte os compostos orgânicos em novas células bacterianas e em vários compostos que juntos, formam o biogás, conforme listado abaixo:

Tabela 01: Percentual de compostos resultantes da degradação anaeróbia

<b>Composto</b>	<b>Percentual médio</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	50% a 75%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25% a 40%
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1% a 3%
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5% a 2,5%
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1% a 1%
Sulfeto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0,1% a 0,5%
Amônio (NH <sub>3</sub> )	0,1% a 0,5%
Monóxido de carbono (CO)	0% a 0,1%
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

Fonte: CASSINI, 2003 apud Pires, 2000.

Em condições normais de geração, o biogás não é tóxico devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono; por outro lado, em razão das impurezas que contém, o biogás é muito corrosivo, principalmente pela ação do gás sulfídrico, que ataca além de outros materiais, o cobre, o latão e o aço, dependendo de sua concentração. O gás sulfídrico é retirado utilizando um filtro de limalha de ferro; é este gás que provoca o odor desagradável do biogás (CASSINI, 2003).

O monóxido de carbono, para teores elevados da ordem de 1% (excepcionais nas condições normais de produção do biogás), torna-se tóxico e mortal. A presença de sulfeto de hidrogênio pode constituir um problema a partir do momento em que haja combustão do gás e que sejam inalados os produtos dessa combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) é extremamente nociva e pode causar perturbações pulmonares (CASSINI, 2003).

Outros gases contidos no biogás não originam problemas em termos de toxicidade ou nocividade. O gás carbônico, em proporção significativa (25% a 40%), ocupa boa parte do volume útil e obriga, quando não suprimido, a aumento das capacidades de armazenamento. O vapor de água pode ser corrosivo para as canalizações depois de condensado (CASSINI, 2003).

Segundo Macêdo (2006), os lixiviados originados do tratamento de resíduos sólidos são relativamente biodegradáveis em função de possuírem alta DBO (demanda bioquímica de oxigênio), apresentando valores acima de 10.000 mg/L. Da mesma forma, a DQO (demanda química de oxigênio) tem valores altos, em torno de 0,7.

O valor da produção total de metano depende da composição do resíduo, principalmente da fração orgânica. Esse parâmetro tem valores típicos entre 5 m<sup>3</sup> a 310 m<sup>3</sup> de tonelada CH<sub>4</sub> / t resíduo (BORBA, 2006).

### 3.4.1 Geração em Estações de Tratamento de Esgoto

As emissões decorrentes das fontes naturais têm se mantido razoavelmente constantes, enquanto as antropogênicas têm aumentado consideravelmente, para as quais o tratamento de esgotos contribui com aproximadamente 7% das emissões de metano para a atmosfera (MACÊDO, 2006 apud Castilhos Jr., Medeiros, Firta, et al., 2003).

A fermentação anaeróbica que produz metano sempre foi utilizada no tratamento de esgotos nos sistemas de fossas sépticas, que podem ser usadas para fins domésticos em pequenas comunidades ou para fins industriais alimentícios ou agropecuários. A evolução da fossa séptica deu origem aos digestores que realizam a estabilização do lodo descartado. São vários os sistemas digestores, porém os principais são os contínuos e os descontínuos. No sistema contínuo a produção do biogás é regular. Já no sistema descontínuo a produção de biogás é irregular e o volume produzido é da ordem de 60 m<sup>3</sup> por tonelada de matéria bruta (COSTA, 2006).

Quanto à geração de biogás através do tratamento de efluentes líquidos no Brasil, cita-se:

Os efluentes com alto teor de matéria orgânica como os esgotos domésticos e aqueles das indústrias alimentícias, de bebidas e de papel e celulose, têm um alto potencial para emissão de metano. A matéria orgânica presente nesses efluentes é expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é o principal fator determinante do potencial de geração de metano. A DBO representa a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica expressa em miligramas por litro (mg/L). [...] O volume de esgotos gerados por pessoa depende da quantidade de água consumida, correspondendo normalmente a 80% desta. A carga orgânica unitária varia de país para país, entre 20 e 80g DBO por habitante por dia. No Brasil, esta se situa em torno de 50gDBO/hab.dia (FEACHEM, 1983).



Considerando-se este fator, tem-se no Brasil a geração de 1,97 milhões de toneladas de DBO por ano. (ALVES, 1998, p.16).

### **3.4.2 Geração em Aterros Sanitários**

Os resíduos depositados em aterro sanitários contribuem para uma geração de aproximadamente 8% das emissões de metano na atmosfera (MACÊDO, 2006 apud Castilhos Jr., Medeiros, Firta, et al., 2003).

Em um Aterro Sanitário, a evolução da degradação dos resíduos é descrita pelo modelo descrito por Pohland e Harper (1985) apud Coelho (2008) em 5 fases que ocorrem ao longo da vida útil do Aterro. Na primeira fase ocorre acúmulo de umidade no aterro e a decomposição microbiana é aeróbia. Na segunda fase acontece a transição entre o processo aeróbio e anaeróbio, em que o oxigênio é substituído por dióxido de carbono. Na terceira fase há a formação de ácidos com consumo de nitrogênio e fósforo. Na quarta fase observa-se a fermentação metanogênica, onde os ácidos intermediários são consumidos por microrganismos estritamente anaeróbios, dando origem ao metano e ao dióxido de carbono. Ainda na quarta fase, a carga orgânica do lixiviado diminui, enquanto que a produção de gases aumenta proporcionalmente. Na quinta fase ocorre a maturação final e devido a escassez de nutrientes, a atividade microbiana adormece e a produção de gases entra em queda.

### **3.5 Captação do biogás**

#### **3.5.1 Estações de tratamento de esgoto**

Nos sistemas anaeróbicos de tratamento de esgotos o biogás pode ser captado para tratamento do lodo de descarte gerado. Em estudos realizados pela UFMG foi experimentada uma tecnologia para higienização do lodo utilizando o biogás como fonte calorífica no tratamento térmico do lodo. O experimento se deu na ETE Arrudas, em Belo Horizonte - MG. Foi utilizado reator UASB, frasco lavador de gás, gasômetro, reservatório de biogás, queimador e reator térmico e agitador. Como o biogás é produzido continuamente e o descarte do lodo é realizado em bateladas para atingir as condições de trabalho desejadas, armazenou-se o biogás produzido para posterior queima no momento do tratamento térmico do lodo. Esse armazenamento permitiu a aplicação de pressão no biogás no decorrer do processo de queima. Dessa forma alcançaram-se temperaturas mais elevadas em menos tempo, acelerando o tratamento do lodo. Nesse experimento foi observado que somente com a utilização do biogás ocorreu a total higienização do lodo tratado termicamente (CASSINI, 2003).

Em outro experimento o biogás foi utilizado com a energia solar na secagem e higienização de lodos de esgotos. Foi utilizada uma estufa plástica tipo “túnel hermano” com a função de não permitir a entrada da água de chuva e acumular energia solar, com tubulações de cobre no fundo do leito de secagem para circulação de óleo aquecido por biogás vindo do RALF. Um medidor quantifica o biogás canalizado. Para retirar as impurezas do biogás (gás sulfídrico) foi construído um filtro de limalha de ferro. Na entrada do aquecimento, a tubulação é modificada de PVC para cobre até o sistema formado por dois aquecedores adaptados. Na canalização é colocado óleo

térmico que depois de aquecido pela queima do biogás, circula pela tubulação colocada sob o leito de secagem com a ajuda de duas bombas de 3 CV operando alternadamente (CASSINI, 2003).

### **3.5.2 Aterros sanitários**

O biogás de aterros sanitários é drenado para o exterior do maciço de resíduos de forma a evitar a existência de bolsões internos que podem gerar incêndios ou explosões, além de aumentarem os problemas com a instabilidade dos taludes. Monteiro (2001) sugere a instalação de drenos verticais semelhantes a poços, com 50 cm de diâmetro, espaçados de 50 a 60 m entre si e executados em brita ou rachão, conforme a oferta local.

Os drenos para captação do biogás podem ser executados por dois métodos. O primeiro consiste em subir o dreno à medida que as células do aterro vão sendo preenchidas com resíduos. No segundo método escava-se a célula já encerrada, ou seja, onde os resíduos já foram aterrados, para então construir os drenos verticais, deixando uma guia para que seja continuado caso outra célula seja projetada acima. Dos dois métodos, o primeiro oferece menor custo visto que as escavações podem ultrapassar 5 m de altura, tornando a execução de tais serviços quase inviável, dependendo da fase de degradação em que se encontrar a célula (CASTILHOS JÚNIOR, 2006).

O tratamento mais utilizado em relação ao biogás de aterro sanitário é a queima em queimadores acoplados na parte superior dos drenos, os chamados *flares*. Em geral, o sistema de drenagem de gases é individual (tipo aberta), com algumas exceções onde são utilizados sistemas conjugados de drenagem que fazem a extração forçada de gás.

No Brasil, o tratamento dos gases gerados em aterros sanitários, em sua grande maioria, consiste em simplesmente realizar a queima do metano liberando dióxido de carbono (CASTILHOS JÚNIOR, 2006 apud JUCÁ, 2003).

Os processos de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) confinados em aterros sanitários têm duração de vários anos. O monitoramento deve se estender por mais de 30 anos após o encerramento das deposições de resíduos. Neste período, o biogás ainda é detectado (CASSINI, 2003 apud González & Sánchez, 1996).

### **3.6 Efluentes líquidos e biogás**

Cassini (2003) afirma que a conversão microbiológica anaeróbia que ocorre nos resíduos orgânicos com aproveitamento do biogás poderá suprir a necessidade de gás natural utilizados nos processos de energia termoelétrica.

As dificuldades na obtenção de energia em quantidade adequada a crescentes demandas têm favorecido a busca por alternativas sustentáveis, dentre elas o aproveitamento energético dos resíduos, incentivando o uso racional dos recursos naturais. Nesse contexto, o aproveitamento do metano contribui para o aumento da matriz energética sustentável por ser um combustível renovável. Mesmo diante dessas perspectivas, vários empreendimentos, por segurança e/ou desconhecimento de técnicas de recuperação do biogás, preferem a queima do biogás ao uso do seu potencial energético (CETESB, 2006).

A energia gerada pelas técnicas de recuperação do biogás poderá ser utilizada para melhorar o tratamento de resíduos sólidos urbanos e dos esgotos domésticos e comerciais, bem como de outros com potencial semelhante, substituindo o uso de combustíveis fósseis ou energia elétrica vinda da rede pública de distribuição. Nos sistemas integrados de tratamento de efluentes após

a realização da etapa anaeróbia, quando o biogás já foi recuperado, este poderá ser utilizado diretamente em sistema aeróbio que por sua vez requer energia para funcionamento (CETESB, 2006).

A Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) vem investindo em tecnologias de aproveitamento do biogás gerado em suas estações de tratamento de esgotos:

Além de contribuir para a recuperação da camada de ozônio, a energia limpa produzida na estação de tratamento de esgoto também traz vantagens em relação à redução de consumo de energia elétrica no processo do tratamento de esgoto. Atualmente o gasto com energia elétrica é a segunda maior despesa da Companhia de Saneamento do Paraná. E a utilização da energia elétrica oriunda do processo de tratamento poderá, no futuro, gerar uma economia de mais de R\$ 3 milhões por ano para a empresa. “A partir do momento em que a Sanepar se torna autossuficiente no consumo de energia elétrica, está disponibilizando mais energia à população”, afirma o presidente da Sanepar, Stênio Jacob (CIMM, 2008).

Em Foz do Iguaçu (PR) existe uma Estação de Tratamento de Esgoto, a ETE Ouro Verde, que produz energia limpa baseada na utilização do gás metano, subproduto do tratamento de esgoto, para a geração de energia. Na ETE Ouro Verde, o esgoto doméstico produzido por cerca de 17.550 pessoas é convertido em energia elétrica. São produzidos anualmente aproximadamente 18 mil metros cúbicos de metano por ano, utilizado para gerar energia elétrica como resultado da digestão anaeróbia do esgoto doméstico. Essa quantidade de metano gera cerca de 16.000 kWh/ano. A referida ETE consome mensalmente 68 kWh, no entanto são produzidos 1.500 kWh por mês, suficientes para o consumo de cinco residências no período. A energia excedente é repassada a rede de baixa tensão da Companhia Paranaense de Energia (**Copel**), com autorização da Resolução **Aneel** nº 1.482, de 29 de julho de 2008. (SANEPAR, 2010).

Em pesquisas realizadas por Alves (1998) obteve-se estimativa para emissões de metano no Brasil, ano de referência 1994:

- Gerado por RSU: ..... 677,18 Gt CH<sub>4</sub>/ano
- Gerado esgotos sanitários: ..... 43,11 Gt CH<sub>4</sub>/ano

Nos processos de tratamento de efluentes líquidos em ETEs, os custos variam conforme o nível de tratamento. Uma ETE que utiliza o método de lodos ativados tem custos maiores com energia nos tanques de aeração. Os processos de lodos ativados são mais eficientes para reduzir a carga orgânica, porém consomem o dobro de energia utilizada nos processos anaeróbios. Os reatores tipo UASB com pós-tratamento utilizam pouca energia e geram metano no processo anaeróbio, constituindo fonte renovável de energia. Nesse caso, o gás metano pode gerar energia para o consumo na própria ETE, nos tratamentos aeróbios, na higienização térmica de lodo ou como combustível para veículos (JORDÃO, 2008).

Segundo Iclei (2009), em 2008 a oferta de energia elétrica foi de 496,4 TWh, enquanto que a demanda foi de 428,7 TWh, fato que demonstra que o Brasil não tem grande excedente de energia elétrica. A mencionada bibliografia também recomenda:

O biogás, por conter um elevado teor de metano (CH<sub>4</sub>), possui diversas aplicações de caráter energético. Embora sua principal aplicação seja como combustível em um motor de combustão interna a gás, que movimenta um gerador de energia elétrica, ele pode ser direcionado também para outros fins. [...] Entre suas possíveis aplicações, destacam-se a produção de calor de processo, secagem de grãos em propriedades rurais, secagem de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), queima em caldeiras, aquecimento de granjas, iluminação a gás, tratamento de chorume, entre outros (ICLEI, 2009, p. 27).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Para fundamentação utilizou-se bibliografia relacionada ao tema em meio impresso e eletrônico. As obras impressas fazem parte de acervo pessoal, de bibliotecas públicas e particulares, acervo de empresas particulares e relatórios de instituições públicas.

### 4.2 Métodos

Existem diferentes métodos para o cálculo da quantidade de metano gerado. Alguns com pouca precisão que levam em conta somente os resíduos domiciliares e outros que consideram uma cinética de geração do biogás pelas condições climáticas locais, pela concentração de nutrientes no solo e composição dos resíduos (MENDES et al, 2005 apud CETESB/SMA, 2003).

Calculou-se a quantidade de resíduos gerados para a população, utilizando-se a fórmula adaptada por Carvalho Júnior (2006):

$$Q = C \times H \quad (1)$$

Onde:

Q: quantidade de resíduos gerados

C: geração *per capita* diária

H: quantidade de habitantes residentes

O método indicado envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no resíduo, resultando na quantidade de metano por quantidade de resíduo depositado, conforme MENDES et al, (2005) apud IPCC (1996):

$$Q_{CH_4} = \frac{Hab \times Taxa_{RDO} \times RDO_f \times L_0}{p_{CH_4}} \quad (2)$$

Onde:

- $Q_{CH_4}$ : Metano gerado em  $m^3 CH_4$ /ano por kg de RDO  
 Hab: População urbana em habitantes  
 Taxa<sub>RDO</sub>: Taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares por habitante por ano em kg de RDO/habitante/ano  
 RDO<sub>f</sub>: Fração de resíduos domiciliares depositada em locais de disposição de resíduos sólidos em %.  
 L<sub>0</sub>: Potencial de geração de metano do lixo ( $m^3 CH_4$  / t resíduo)  
 p<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Massa específica do metano em  $kg/m^3$ .

Para esgotos domésticos e comerciais, utilizou-se o recomendado por (IPCC, (1996) apud Alves (1998):

$$Q \text{ kgCH}_4/\text{ano} = \text{Popurb} \times \text{taxa}_{DBO5} \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - R \quad (3)$$

Onde:

- Popurb: População urbana  
 Taxa DBO<sub>5</sub>: Taxa de geração de DBO<sub>5</sub>/hab.ano  
 FET: Fração de esgotos tratada  
 FCM: Fator de correção de metano  
 MFEM: Máximo fator de emissão de metano  
 R: Quantidade de metano recuperado (kgCH<sub>4</sub>/ano)



Complementa-se com a estimativa da potência disponível sugerida por Iclei (2009):

$$P = \frac{Q \times \text{PCI} \times \eta}{860.000} \quad (4)$$

Onde:

- P: Potência disponível (MW);  
Q: quantidade de metano emitida por ano  
(m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano)  
PCI: Poder Calorífico Inferior do metano;  
η: Eficiência de motores;  
860.000: Conversão de kcal para MW;

### 4.3 Caracterização da região de estudo

São Luís, capital do Estado do Maranhão, localiza-se a oeste da ilha de mesmo nome, possuindo uma área de 831,7 km<sup>2</sup>. A cidade divide o espaço da ilha com os municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, que formam a Região Metropolitana de São Luís, juntamente com a cidade de Alcântara, situada no continente (ESPÍRITO SANTO, 2006).

O território do município de São Luís ocupa mais da metade (57%) da Ilha de São Luís (Mapa 02), pertencendo-lhe ainda, politicamente, as ilhas de Tauá-Mirim, Tauá-Redondo, Duas Irmãs, Guarapirá, do Medo e das Pombinhas. Segundo estimativas do IBGE (2012), 1.014.837 pessoas residem em São Luís (MA).

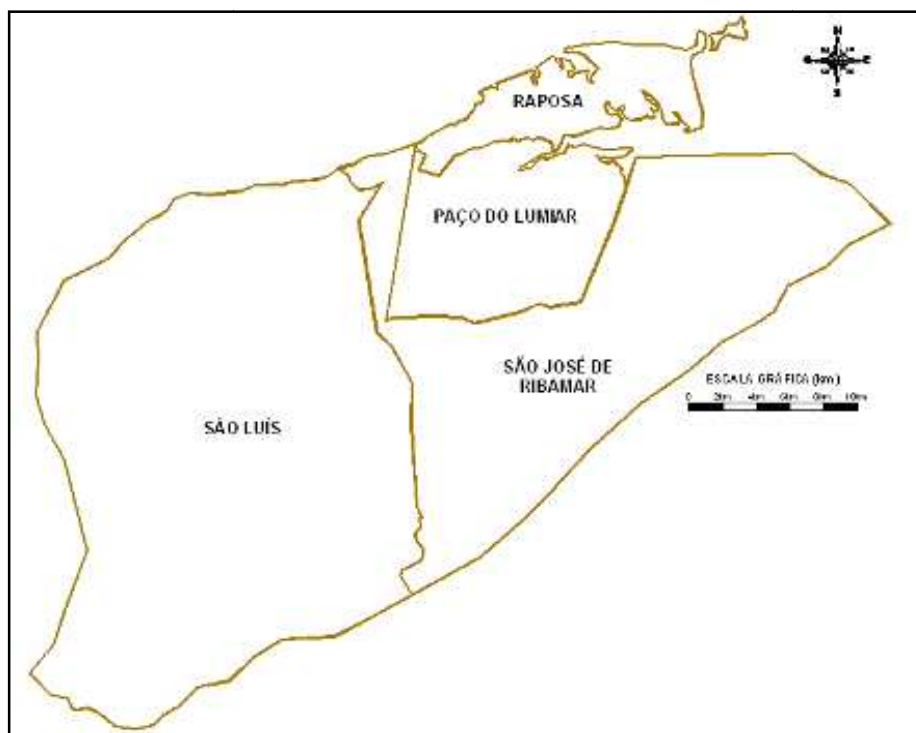


Mapa 01: Localização geográfica  
Fonte: ESPÍRITO SANTO, 2006

A população do município de São Luís está distribuída em um centro urbano com 112 bairros (que constituem a região semiurbana) e 122 povoados (que formam a sua zona rural). A cidade está dividida em 15 setores fiscais e 233 bairros, loteamentos e conjuntos residenciais (ESPÍRITO SANTO, 2006).

O destino dos resíduos coletado é o Aterro Municipal da Ribeira, que atualmente está sem licença de operação. No referido Aterro, os resíduos são acomodados em células, compactados por tratores de esteira e cobertos com material inerte. Os efluentes líquidos são coletados através de uma rede interligada de drenos horizontais que é construída ao longo das células de operação; estes são encaminhados a uma lagoa de tratamento anaeróbio, depois a uma facultativa. Os gases gerados pela decomposição dos resíduos são coletados por drenos verticais ligados aos drenos horizontais e lançados à atmosfera sem

que haja a queima necessária para transformar metano em dióxido de carbono (SÃO LUÍS, 2008).



Mapa 02: Ilha de São Luís  
Fonte: Própria autora adaptado de São Luís (2008)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização desta pesquisa utilizou-se a experiência de vários autores para desenvolvimento de estimativas de geração de metano oriundo do tratamento de esgotos domésticos do tratamento de resíduos sólidos domiciliares. Os parâmetros baseiam-se nas informações relativas à produção de resíduos sólidos urbanos e esgotos sanitários de São Luís (MA).

### 5.1 Cálculo da geração de metano por resíduos sólidos domiciliares

Na determinação da quantidade de metano gerada a partir da produção de resíduos sólidos urbanos, levou-se em consideração a parcela domiciliar, a geração *per capita* diária e a quantidade de habitantes residentes:

$$Q = C \times H$$

Para:

C: 0,80 kg/hab/dia de RSU (MONTEIRO, 2001)

H: 1.014.837 habitantes em São Luís (MA) (IBGE, 2012)

Portanto:

$$Q = 0,80 \times 1.014.837$$

$$Q = 811.870 \text{ kg/dia}$$

Portanto a Cidade de São Luís, com população de 1.014.837 habitantes, tem estimativa de produção de 800 mil quilogramas por dia de resíduos sólidos urbanos.

Com esse resultado, calcula-se a quantidade de metano por ano ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$ ) utilizando a quantidade de RDO (kg/dia) e habitantes, taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares (de RDO/hab/ano), fração de resíduos domiciliares depositada em locais de disposição de resíduos sólidos (%), o

potencial de geração de metano do lixo ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ ) e massa específica do metano ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{Hab} \times \text{TaxaRDO} \times \text{RDOf} \times L_0}{p_{\text{CH}_4}}$$

Para:

Hab : ..... 1.014.837 habitantes em São Luís (MA)

TaxaRDO : ..... A taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares por habitante por ano em kg de RDO/habitante/ano será:

$$\text{QRDO} = \text{QRSU} \times \% \text{ de RDO}$$

$$\% \text{ de RDO} = 49\% \text{ (BATISTELLA, 2010)}$$

Então,

$$\text{QRDO} = 811.870 \times 49\%$$

$$\text{QRDO} = 397.816 \text{ kg/dia}$$

$$\text{TaxaRDO} = (\text{QRDO} \times 365 \text{ dias}) / 1.014.837$$

$$\text{TaxaRDO} = (397.816 \times 365 \text{ dias}) / 1.014.837$$

$$\text{TaxaRDO} = 143 \text{ kg/hab/ano}$$

RDOf : ..... 44% (ESPÍRITO SANTO, 2006)

$L_0$ : ..... 100  $\text{m}^3/\text{t}$  (BORBA, 2006) ou 0,10  $\text{m}^3/\text{kg}$

$p_{\text{CH}_4}$ : ..... 0,716  $\text{kg}/\text{m}^3$  (CETESB, 2006)

Portanto,

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{1.014.837 \times 143 \times 44\% \times 0,1}{0,716}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 8.918.093 \text{ m}^3$$

Ou,

$$Q_{CH_4} = 6.385 \text{ t } CH_4/\text{ano}$$

(estimativa de geração de metano por RDO)

A Cidade de São Luís (MA) gera através do tratamento de resíduos sólidos domiciliares, aproximadamente 8 milhões de metros cúbicos de metano ao ano.

## 5.2 Cálculo da geração de metano por esgotos sanitários

A determinação da quantidade de metano é gerada a partir da produção de esgotos sanitários da população urbana, da taxa de DBO (DBO<sub>5</sub>/hab.ano), fração de esgotos tratada, fator de correção de metano, fator de correção de metano, máximo fator de emissão de metano e quantidade de metano recuperado (kgCH<sub>4</sub>/ano).

$$Q \text{ kgCH}_4/\text{ano} = \text{Popurb} \times \text{taxaDBO}_5 \times \text{FET} \times \text{FCM} \times \text{MFEM} - R$$

Para:

Popurb: ..... 1.014.837 habitantes em São Luís (MA)

Taxa DBO<sub>5</sub>: ..... 18,25 kgDBO/hab.ano (ALVES, 1998)

FET X FCM: .... 8,3% (0,08)

[...] pode ser feita uma estimativa da situação do tratamento dos esgotos no Brasil, gerando uma estimativa que corresponde ao produto FET x FCM. A conclusão a que se chega é que uma quantidade baixa dos esgotos é tratada e que a fração de degradação anaeróbia é proporcionalmente baixa, o que equivale a dizer que o produto FET x FCM deve corresponder a 8,3%, como se demonstra aqui, contra os 8% que propõe o IPCC (8% a 10%). Fonte: ALVES, 1998, p.49.

MFEM: ..... 0,25 kgCH<sub>4</sub>/kgDBO<sub>5</sub> (ALVES, 1998)

R: ..... Considera-se insignificante (CENBIO, 2011).

Portanto,

$$Q \text{ kgCH}_4/\text{ano} = 1.014.837 \times 18,25 \times 8,3\% \times 0,25$$

$$Q \text{ kgCH}_4/\text{ano} = 384.306$$

Como a massa específica do metano é 0,716 kg/m<sup>3</sup>, tem-se:

$$Q_{\text{CH}_4} = 384.306 / 0,716$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 536.740 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Ou,

$$Q_{\text{CH}_4} = 384 \text{ t CH}_4/\text{ano}$$

(estimativa de geração de metano por esgotos sanitários)

A Cidade de São Luís (MA) poderá gerar através do tratamento de esgotos domésticos e comerciais, aproximadamente 500 mil metros cúbicos de metano ao ano.

### 5.3 Cálculo da potência disponível

A estimativa da potência disponível utiliza a expressão sugerida por Iclei (2009), que utiliza a quantidade de metano emitida por ano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano), o poder Calorífico Inferior do metano, percentual de eficiência de motores e fator de conversão de kcal para MW.

$$P = \frac{Q \times \text{PCI} \times \eta}{860.000}$$

Para:

$$Q: 8.918.093 \text{ m}^3 \text{ (RDO)} + 536.740 \text{ m}^3 \text{ (esgotos sanitários)}$$

$$\text{Total: } 9.454.833 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ano}$$

PCI: 5.500 kcal/m<sup>3</sup> (ICLEI, 2009);

$\eta$ : 28% = 0,28 (ICLEI, 2009)

$$P = \frac{9.454.833 \times 5.500 \times 0,28}{860.000}$$

$$P = 16.931 \text{ MWh/ano}$$

Para a Cidade de São Luís (MA), estima-se uma potência disponível de 16 mil megawatts por ano, originada de fonte alternativa baseada em biogás oriundo do tratamento de resíduos sólidos domiciliares e esgotos sanitários domésticos e comerciais.

#### **5.4 Uso energético do biogás no tratamento de efluentes líquidos**

Tomando-se como base as estimativas obtidas nos resultados com pesquisas realizadas por Alves (1998) onde as quantidades de metano gerado por RSU e gerado por esgotos sanitários encontrados foram, respectivamente, 677,18 e 43,11 Gt CH<sub>4</sub>/ano, obtemos a razão entre o potencial de geração RSU/Esgotos sanitários de 15,71 e os percentuais de 94,01% para geração por resíduos sólidos urbanos e de 5,99% para geração por esgotos sanitários.

Na presente pesquisa as estimativas realizadas para a cidade de São Luís (MA) alcançaram percentuais semelhantes: 94,33% para geração por resíduos sólidos urbanos e de 5,67% para geração por esgotos sanitários. Verifica-se que os métodos de cálculo utilizados têm semelhança com os aplicados por outros autores. As diferenças se devem, principalmente, ao percentual de RDO necessário para compor a taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares por habitante e ao percentual de fração de resíduos domiciliares depositada em



locais de disposição de resíduos sólidos. Para esses parâmetros obtiveram-se quantidades específicas para São Luís (MA) nos estudos locais.

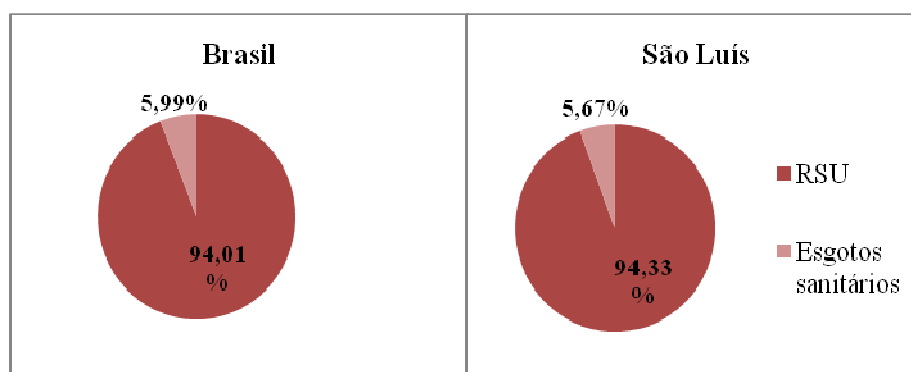


Figura 03: Gráfico de estimativa de geração de metano

A potência disponível estimada para São Luís gerada a partir dos esgotos sanitários é de 961 mil kWh/ano para a população de 1.014.837 habitantes. Em relatório da SANEPAR (2010) referente à ETE Ouro Verde, informa-se que o esgoto doméstico produzido por cerca de 17.550 habitantes gera aproximadamente 16 mil kWh/ano, suficientes para o consumo de 5 residências no período. Dessa forma, comparando-se os resultados, obtém-se que se os esgotos sanitários de São Luís fossem tratados por processos anaeróbios para captação de biogás, poderiam ser beneficiadas aproximadamente 260 residências.

Considerando-se que o Brasil não tem grande excedente de energia elétrica conforme Iclei (2009), a utilização da energia provinda do biogás para melhoria dos tratamentos de efluentes líquidos de unidades de tratamento de resíduos sólidos e de esgotos sanitários representa um ganho não só econômico mas também ambiental ao utilizar o metano resultante dos processos anaeróbios, ao invés de lançá-lo na atmosfera ou queimá-lo sem aproveitar o seu potencial.

## 6 CONCLUSÃO

Neste estudo verifica-se que, atualmente, o desenvolvimento econômico tem como uma de suas principais consequências o aumento acentuado da dependência energética que ocasiona escassez de energia oriunda de recursos primários. Nesse contexto, os sistemas de captação de biogás têm se mostrado vantajosos, estimulando as investigações na produção de energia a partir de fontes alternativas que sejam atrativas.

O tratamento do biogás é de fundamental importância para a proteção da atmosfera, principalmente para a preservação do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos. Esse tratamento não deve ter como resultado apenas a simples redução do potencial poluidor dos gases que constituem o biogás. Há de se privilegiar e melhorar as tecnologias voltadas para o aproveitamento energético do metano que representa parte considerável do biogás.

As estimativas de geração e potência disponível calculadas, apesar de serem obtidas de forma simples e merecendo novos estudos e parâmetros, demonstram a necessidade de aproveitar o potencial energético do metano principalmente no melhoramento das unidades de tratamentos de resíduos sólidos e de esgotamento sanitário, a exemplo da secagem térmica de lodo de estações de tratamento de esgoto, que de outra forma dispensa as grandes quantidades de cal. A higienização de lodos do tratamento de efluentes líquidos com o biogás reduz tempo e custo. A energia aproveitada também é útil nos processos aeróbios de retirada da carga orgânica dos efluentes.

A melhoria na captação e utilização do metano existente no biogás dos processos anaeróbios beneficiará diretamente a população com a distribuição da energia elétrica excedente produzida em unidades de tratamento de resíduos e esgotos, reforçando o caráter sustentável do aproveitamento energético do biogás.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos - classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALVES, João Wagner Silva; e VIEIRA, Sonia Maria Manso. **Inventário Nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos**. São Paulo: CETESB, 1998.
- ANJOS NETO, Sérgio Pereira dos. **Aspectos históricos e diagnóstico técnico-operacional do sistema de esgotos sanitários de São Luís**. São Luís, 2006.
- BATISTELLA Consultoria e Construções. **Estudos sobre os serviços de limpeza urbana do Município de São Luís**, 2010.
- BORBA, Silvia Mary Pereira. **Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução no 307, de 05/07/2002** – Publicação DOU no 136, de 17 jul. 2002.
- \_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.
- CARVALHO JÚNIOR, Francisco Humberto de. **Curso de Resíduos Sólidos Urbanos: coleta, transporte, tratamento e destinação final**. São Luís: ABES, 2006.
- CASSINI, Sérgio Túlio. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.
- CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges, MEDEIROS, P. A., FIRTA, I. N., et al. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos**. In: CASTILHOS JR., A. B. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. 2003.

CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. 2006.

CATAPRETA, Cícero Antônio Antunes e HELLER, Léo. **Associação entre coleta de resíduos sólidos domiciliares e saúde**, Belo Horizonte (MG), Brasil, Revista Panamericana de Salud Publica / Pan American Journal of Public Health, v. 5, n. 2, p. 88-96, 1999. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/5n2a3.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas**. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP, 2011.

CETESB, Companhia de tecnologia e saneamento Ambiental. **Biogás : projetos e pesquisas no Brasil**. São Paulo: SMA, 2006.

CETESB, Companhia de tecnologia e saneamento Ambiental & SMA-SP – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Relatório técnico nº 2 do convênio SMA/MCT nº 01.0052.00/2001 – aterro**. São Paulo, 2003.

CHUNG, Shan-shan. **Measuring bulky waste arisings in Hong Kong. Hong Kong Baptist University. Kowloon Tong**, 2009. Disponível em: <[http://eprints.hkbu.edu.hk/133/1/Bulky\\_waste\\_WM\\_for\\_HKBUr.pdf](http://eprints.hkbu.edu.hk/133/1/Bulky_waste_WM_for_HKBUr.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2010.

CIMM, Centro de Informação Metal Mecânica. **Com biogás, Sanepar deixa de emitir 1,5 ton de gás metano**. Disponível em [http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/3904-com-biogas-sanepar-deixa-de-emitir-15-ton-de-gas-metano](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/3904-com-biogas-sanepar-deixa-de-emitir-15-ton-de-gas-metano). Agência Estadual de Notícias. Curitiba, 2008. Acesso em 24 jul. 2012.

COELHO, Hosmanny Mauro Goulart. **Aproveitamento Energético do Lixo Urbano e de Resíduos Industriais**. Lavras (MG): FAEPE - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2008.

COSTA, David Freire. Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2006. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos\\_dissertacoes/costa.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/costa.pdf). Acesso em 24 jul. 2012.

ESPÍRITO SANTO, José Marcelo. **São Luís: uma breve leitura da cidade.** Prefeitura de São Luís / Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade. São Luís: Instituto da Cidade, 2006.

FERREIRA, Viviane Amaral e TAMBOURGI, Elias Basile. **A importância do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.** Exacta, São Paulo, V. 7, n. 2, 2009.

GONZÁLEZ, L. G. I.; SÁNCHEZ, G. J. **Estabilización acelerada de los residuos sólidos em um relleno sanitário.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 1996, México. Anais... México, 1996.

HAMADA, J., CAVAGUTI, N. **Formas de Destinação de Lixo Doméstico em Alguns Municípios do Interior do Estado De São Paulo.** 19º Congresso Brasileiro de Engenharias Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 24 jul. 2012.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela **Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários.** São Paulo, 2009.

IPCC – International Panel on Climate Change. Guidelines for national. **Greenhouse Inventories: Reference Manual (VOL.3)**, 1996.

JORDÃO, Eduardo Pacheco. **Eficiência Energética em Tratamento de Esgotos.** Revista DAE, São Paulo, n.177, p.15-19, mai/mai. 2008.

JUCÁ, José Fernando Tomé. **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5., 2003, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 2003.

LOPES, Adriana Antunes. **Estudo da Gestão e do Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de São Carlos (SP).** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Introdução à Química Ambiental**. 2. ed. Juiz de Fora: 2006.

MARQUES, José Roberto. **Meio Ambiente Urbano**. 1 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2005.

MENDES, Luiz Gustavo Galhardo, et al. **Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário**. Taubaté, 2005.

MONTEIRO, José Henrique Penido; ZVEILBIL, Victor Zular. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PHILIPPI JR, Arlindo e AGUIAR, Alexandre de Oliveira. **Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento**. In: PHILIPPI JR., Arlindo. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 1ª Edição. Barueiri, SP: Manole, 2005.

PIERRE, C. V.; QUEZADA DORIA, R. A. **Análise de viabilidade econômica do aproveitamento de biogás gerado em um reator anaeróbico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Salvador. Anais... Salvador, BA: ABES, 1995.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PIRES, N. J. **Biogás: o aproveitamento dos resíduos orgânicos**. Disponível em <<http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm>>. Acesso em 24 jul. 2012.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. **Energia produzida a partir de Estação de Tratamento de Esgoto**. Disponível em: [http://educando.sanepar.com.br/ensino\\_superior/energia-produzida-partir-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto](http://educando.sanepar.com.br/ensino_superior/energia-produzida-partir-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto)>. Curitiba, 2010.

SÃO LUÍS, Prefeitura de. Superintendência de Limpeza Pública. **Serviços de Limpeza Pública – Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de São Luís(MA)**, 2008.

\_\_\_\_\_, Prefeitura de. Núcleo Gestor de Limpeza Urbana. **Mapa: Lixões em corredores primários**, 2002.

\_\_\_\_\_, Prefeitura de. Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006. **Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de São Luís** e dá outras Providências. São Luís, 2006.

\_\_\_\_\_, Prefeitura de. Lei nº 4.387 de 26 de Agosto de 2004. **Institui o Programa municipal de incentivo à coleta seletiva e à reciclagem de resíduos sólidos**, disciplina a coleta e destinação de resíduos não convencionais e dá outras providências. São Luís, 2004.

\_\_\_\_\_, Prefeitura de. Lei nº 4.653 de 21 de Agosto de 2006. **Cria o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos Volumosos, e o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil** no Município de São Luís (MA) e dá outras providências. São Luís, 2006.

\_\_\_\_\_, Prefeitura de. Lei nº 1.790 de 12 de maio de 1968. **Dispõe sobre o Código de Posturas do Município de São Luís**. São Luís, 1968.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem Urbana**. Ciência e Cultura, vol.55, n.4, São Paulo Oct./Dec. 2003. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400020&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400020&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 07 abr. 2010.

VIANNA, Marcos Rocha. **Mecânica dos fluidos para engenheiros**. 4 ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2001.

ZERBOCK, Olaf. **Urban Solid Waste Management: Waste Reduction in Developing Nations**. School of Forest Resources & Environmental Science. Michigan Apr.2003. Disponível em:<[http://www.cee.mtu.edu/sustainable\\_engineering/resources/technical/Waste\\_reduction\\_and\\_incineration\\_FINAL.pdf](http://www.cee.mtu.edu/sustainable_engineering/resources/technical/Waste_reduction_and_incineration_FINAL.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2010.

**ANEXOS**



## ANEXO I DECLARAÇÃO

Eu, Ana Maria França Cutrim, estudante de pós-graduação *Lato Sensu* da UFLA, com número de matrícula FAE210031 no curso de FAE -Formas Alternativas de Energia, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que, sob as penalidades previstas no Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que é de minha criação o trabalho de conclusão de curso - TCC que ora apresento, conforme exigência expressa no parágrafo único do Art. 11 da Resolução nº 1, de 3 de abril de 2001, da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação.

Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de Falsidade Ideológica:

"Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante:

Pena - reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte".

Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

São Luís (MA), 31 de julho de 2012.

---

Ana Maria França Cutrim

**ANEXO II**  
**REVISÃO DE TEXTO**  
**DECLARAÇÃO**

Eu, Natércia Moraes Garrido, professora de Português no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), portador do registro de magistério n.\_\_\_\_\_ do estado de \_\_\_\_\_ declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que fiz a revisão de texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS de autoria de Ana Maria França Cutrim.

Por ser verdade, firmo a presente declaração:

São Luís (MA), 06 de fevereiro de 2013.

---

Natércia Moraes Garrido