



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE**



PRODEMA - UFS

Anne Caroline Almeida Vieira

Mestrado

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



PROGRAMA REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ANNE CAROLINE ALMEIDA VIEIRA

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: DESAFIOS E TECNOLOGIAS

SÃO CRISTÓVÃO – 2011

SERGIPE - BRASIL

ANNE CAROLINE ALMEIDA VIEIRA

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
DESAFIOS E TECNOLOGIAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. José Jailton Marques

SÃO CRISTÓVÃO

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

V658a Vieira, Anne Caroline Almeida
Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos :
desafios e tecnologias / Anne Caroline Almeida Vieira. – São
Cristóvão, 2011.
68 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)
– Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio
Ambiente, Programa Regional de Desenvolvimento e Meio
Ambiente, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa,
Universidade Federal de Sergipe, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza

1. Resíduos sólidos - Reaproveitamento. 2. Desenvolvimento
sustentável. 3. Recursos energéticos. I. Título.

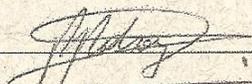
CDU 502.1:628.312.1

ANNE CAROLINE ALMEIDA VIEIRA

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:
DESAFIOS E TECNOLOGIAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre ou Doutor, no Programa de
Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
da Universidade de Federal de Sergipe.

Aprovado em 14 de fevereiro de 2011, pela banca examinadora constituída pelos
seguintes membros:



Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Sousa (orientador)

Universidade Federal de Sergipe – UFS



Prof. Dr. Marcelo Borges Mansur

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG



Profa. Dra. Gicélia Mendes da Silva

Universidade Federal de Sergipe - UFS

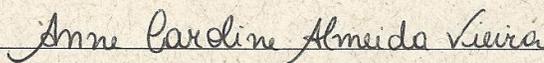
Este exemplar corresponde à versão final da dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento concluído no Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza (orientador)

Universidade Federal de Sergipe – UFS

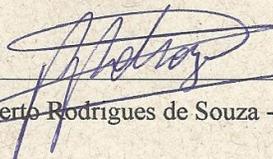
É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento permissão para disponibilizar, reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias.



Anne Caroline Almeida Vieira- Autor

Programa de Meio Ambiente e Desenvolvimento - PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe - UFS



Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza - Orientador

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento - PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe – UFS

Dedico este trabalho a minha família e ao meu noivo que sempre estiveram ao meu lado me incentivando nos momentos mais difíceis e me apoiando na realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja, pela sua finalidade acadêmica, um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Deus, pois sem ele nada seria possível.

A minha família, por ensinarem que o estudo é o melhor caminho e o conhecimento é a melhor herança que nós podemos levar da vida além de me incentivarem nos momentos mais difíceis e me apoiarem na realização de mais um sonho. Amo vocês!

Ao meu afilhado, Danielzinho, por ser tão pequeno e importante na minha vida.

Ao meu noivo, Henrique, pelo apoio, amor incondicional, paciência, compreensão e por proporcionar momentos maravilhosos. Amo você!

Ao meu orientador, professor e amigo, Roberto Rodrigues, uma pessoa de extrema importância na minha vida pessoal e acadêmica que, com sua simplicidade e experiência me ensinou a nunca desistir dos nossos sonhos, acreditar no nosso potencial e, acima de tudo, ser humildes. Admiro-o muito!

Ao meu co-orientador, José Jailton, pelas suas críticas e sugestões relevantes que nortearam o presente trabalho.

À professora Rosemeri, que com sua experiência e conhecimento, deu sugestões de extrema importância para a conclusão do presente trabalho.

Aos colegas de mestrado, pela excelente relação pessoal que criamos. Em especial, minha amiga Laura, por sempre se fazer presente, pelo apoio nos momentos bons e ruins e pela sua amizade.

A todos do PRODEMA, que me ajudaram direta e indiretamente contribuindo para a realização deste trabalho.

Muito obrigada !!!

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o aproveitamento energético dos resíduos domésticos considerando as diversas tecnologias existentes. A consecução do presente estudo foi possível mediante o levantamento bibliográfico de estudos realizados ao tema pertinente à temática em foco e, a partir dos mesmos, foram escolhidas as tecnologias Incineração, Gás de Lixo e Digestão Anaeróbia, utilizadas para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Uma ferramenta poderosa de convergência dos interesses acima mencionados são os indicadores de sustentabilidade que fornecem um diagnóstico da realidade, capazes de sinalizar tendências e possíveis soluções para os problemas enfrentados. A partir dos indicadores de sustentabilidade, pode-se definir qual tecnologia proporciona uma melhor tendência à sustentabilidade através das dimensões econômica, social, política, cultural e ambiental. Logo, neste trabalho foram sugeridos indicadores de sustentabilidade que contribuem para a escolha da tecnologia mais apropriada para a geração de energia, bem como subsídios para a elaboração e implantação de políticas públicas por parte dos gestores visando o desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos urbanos, aproveitamento energético, indicadores de sustentabilidade.

ABSTRACT

This dissertation aims to evaluate the energy use of household waste by considering the various existing technologies. The achievement of this study was made possible by the bibliography of studies relevant to the topic to the theme in focus, and from them were chosen technologies Incineration, Waste Gas and Anaerobic Digestion, used for energy recovery of municipal solid waste. A powerful convergence of interests mentioned above are the sustainability indicators that provide a diagnosis of reality, able to spot trends and possible solutions to the problems faced. From the sustainability indicators, we can define what technology provides a better trend toward sustainability through economic, social, political, cultural and environmental. Shortly before the scenario in which Brazil is presented, we can see that regardless of the technology employed, the environmental, social and economic development is still the biggest destination of illegal waste. Therefore, this study suggested sustainability indicators that contribute to choosing the most appropriate technology for power generation as well as subsidies for the development and implementation of public policies by managers for sustainable development

KEYWORDS: municipal solid waste, energy use, sustainability indicators.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| Lista de Tabelas | xi |
| Lista de Figuras | xii |
| CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO | 1 |
| CAPÍTULO 2- RESÍDUOS SÓLIDOS | 7 |
| 2.1- PROBLEMÁTICA DOS REÍDUOS SÓLIDOS URBANOS | 8 |
| 2.1.1- Aumento de Consumo | 9 |
| 2.1.2- Meio Ambiente | 10 |
| 2.2- TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL | 12 |
| 2.2.1- Pirólise | 12 |
| 2.2.2- Incineração | 13 |
| 2.2.3- Compostagem | 14 |
| 2.2.4- Reciclagem | 14 |
| 2.2.5- Aterros | 16 |
| 2.2.6- Lixão | 17 |
| 2.3- TECNOLOGIA PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO | 18 |

| | Página |
|--|-----------|
| 2.7.1 Aumento de Consumo | 31 |
| 2.7.2 Meio Ambiente | 32 |
| CAPÍTULO 3- TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO | 35 |
| 3.1- GÁS DE LIXO (GDL) | 36 |
| 3.1.1- Formação do Gás de Lixo | 36 |
| 3.1.2- Fatores que Afetam a Geração de Gás | 39 |
| 3.1.3- Sistema de Coleta e Extração de Gás de Lixo | 44 |
| 3.1.4- Sistema de Tratamento de Gás..... | 46 |
| 3.1.5- Sistema de Geração ou Recuperação de Energia | 47 |
| 3.2- DIGESTÃO ANAERÓBIA (D.A) | 50 |
| 3.2.1- Etapas do Processo | 51 |
| 3.2.2- Importantes Parâmetros de Operação no Processo de D.A | 54 |
| 3.2.3- Obtenção de Energia | 55 |
| 3.3- INCINERAÇÃO | 57 |
| 3.3.1- Descrição do Processo de Incineração | 58 |
| 3.3.2- Instalação das Usinas de Incineração | 61 |
| 3.3.3- Incineração com Aproveitamento Energético | 62 |
| 4.1- BASE CONCEITUAL | 66 |

| | Página |
|--|--------|
| CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES | 49 |
| 4.1- IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO AMBIENTAL | 51 |
| 4.2- IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO ECONÔMICA | 52 |
| 4.3- IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO CULTURAL | 55 |
| 4.4- IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO SOCIAL | 56 |
| 4.5- IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO POLÍTICA | 58 |
| CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES | 60 |
| CAPÍTULO 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|--------|
| Tabela 2.1- Destinações recomendadas pelo SIGRS | 13 |
| Tabela 2.2- Principais substâncias responsáveis pela poluição atmosférica | 34 |
| Tabela 3.1- Tecnologia de geração de energia | 49 |
| Tabela 4.1- Conjunto proposto de indicadores de sustentabilidade comparando as referidas tecnologias | 70 |
| Tabela 5.1- Identificação e análise dimensão ambiental das tecnologias | 74 |
| Tabela 5.2- Identificação e análise da dimensão econômica das tecnologias..... | 76 |
| Tabela 5.3- Identificação e análise da dimensão econômica das tecnologias | 78 |
| Tabela 5.4- Identificação e análise da dimensão social das tecnologias | 79 |
| Tabela 5.5- Identificação e análise da dimensão política das tecnologias..... | 81 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 2.1- As Rotas dos Resíduos Sólidos | 14 |
| Figura 3.1- Duração das fases variando com o tempo | 37 |
| Figura 3.2- Sistema de coleta de GDL em um aterro sanitário | 44 |
| Figura 3.3- Etapas da digestão anaeróbica | 52 |
| Figura 3.4- Esquema representativo de dupla câmara de combustão | 59 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 90 do século XX, intensifica-se a percepção do impacto ambiental dos padrões de consumo, possibilitando a emergência de um novo discurso dentro do ambientalismo internacional. A problemática ambiental começa a ser definida, passando a ser identificada, principalmente, com o estilo de vida e os padrões de consumo das sociedades afluentes. Este tema vem se tornando, desde então, central para as políticas ambientais contemporâneas e uma das principais vertentes na busca da sustentabilidade. Logo, sustenta-se a hipótese de que esta redefinição teria se dado a partir de dois deslocamentos discursivos da definição da questão ambiental: 1) do aumento populacional (principalmente no hemisfério sul) para o modelo de produção das sociedades afluentes (especialmente no hemisfério norte), e posteriormente 2) da preocupação com os problemas ambientais relacionados à produção para uma preocupação com os problemas ambientais relacionados ao consumo e aos estilos de vida propriamente ditos (PORTILHO, 2005).

O crescimento desordenado da população mundial desencadeou um aumento excessivo no uso de energia e no consumo de matérias-primas, o que ocasionou, por consequência, um aumento cada vez maior na geração de resíduos. Essa geração, de maneira geral, ocorre em todos os processos de utilização e transformação de matérias-primas. Nesse caso, os resultados dessa transformação geram, incondicionalmente, resíduos sólidos, líquidos e atmosféricos. Braga, Hespanhol e Conejo (2005) comentam que, com a implantação de políticas ambientais, a sociedade e os indivíduos passam a ter à sua disposição um ambiente potencialmente capaz de propiciar a satisfação de uma série de demandas antes impossíveis de serem atendidas. Dentre elas, estão as questões ligadas à produção e à eficiência do processo produtivo, como a redução das perdas de matérias e equipamentos em um ambiente menos agressivo. Em consequência dos processos econômicos esse novo ambiente passa a constituir um bem de mercado.

Segundo Trigueiro (2005), a Carta da Terra representa a nova consciência ecológica da humanidade. O texto relata que estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a Humanidade deve escolher o seu futuro: ou formar uma aliança global para cuidar da Terra e um dos outros, ou arriscar a nossa destituição e a da diversidade de vida.

Alguns setores da sociedade dos países desenvolvidos estão convencidos disto e já aceitaram que o desenvolvimento a qualquer custo está com os dias contados. Uma alteração nos modos de vida parece estar em andamento. Neste sentido, ganha-se força a idéia de Montibeller (2000) de considerar o “desenvolvimento sustentável” como sendo o desenvolvimento de um novo modo de vida e/ou de produção baseado em cinco sustentabilidades básicas: a social, a econômica, a cultural, a espacial e a ambiental.

O termo desenvolvimento sustentável procura vincular estreitamente a temática do crescimento econômico com meio ambiente. Este novo conceito passa uma imagem extremamente positiva, que marca uma nova filosofia de desenvolvimento que combina eficiência econômica com justiça social e prudência ecológica. E assim, sinaliza uma alternativa às teorias e aos modelos tradicionais de desenvolvimento, já desgastadas. Cabe aqui ressaltar que, embora expresso como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem arriscar que futuras gerações não possam satisfazer as necessidades delas” (FERREIRA, VIOLA, 1996), sua definição ainda é precária. José Eli da Veiga (2008) tenta dissecar o que seria exatamente desenvolvimento sustentável, visto que este termo é disseminado mundialmente, com entendimentos diversos. No entanto uma definição mais clara do que vem a ser desenvolvimento surge através de Celso Furtado (VEIGA, 2008):

“O crescimento econômico, tal qual o conhecemos, vem se fundando na preservação dos privilégios das elites que satisfazem seu afã de modernização; já o desenvolvimento se caracteriza pelo seu projeto social subjacente. Dispor de recursos para investir está longe de ser condição suficiente para preparar um melhor futuro para a massa da população. Mas quando o projeto social prioriza a efetiva melhoria das condições de vida dessa população, o crescimento se metamorfoseia em desenvolvimento.”

Seguindo esta discussão, o conceito de sustentabilidade também carece de reflexão. Este conceito é definido resumidamente por Sachs (2000) em um tripé que envolve oito dimensões (social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica, política nacional e política internacional): (1) preservação do potencial da natureza para a produção de recursos renováveis; (2) limitação do uso de recursos não renováveis; e (3) respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais. A sustentabilidade é baseada na solidariedade ética com a geração atual e com as gerações futuras. Esta sustentabilidade impede que se busque soluções triplamente vencedoras (em termos sociais, econômicos e

ecológicos), eliminando o crescimento selvagem obtido ao custo de elevadas externalidades negativas, tanto sociais quanto ambientais.

No século XXI, o crescimento acentuado da população e das atividades industriais tem como consequência uma demanda, cada vez maior, de energia e, conseqüentemente, o aumento do descarte de resíduos sólidos, que podem gerar problemas ambientais (VANZIN, 2006).

Definido como “todo material inútil (...) descartado e posto em lugar público, lixo é tudo aquilo que se ‘joga fora’. É o objeto ou a substância que se considera inútil ou cuja existência em dado meio é tida como nociva” (CALDERONI, 1997). Entretanto, atualmente, o conceito de lixo começa a ser questionado. Embora, na linguagem usual, o termo resíduo é entendido como praticamente sinônimo de lixo, pode-se entender por resíduo a sobra de um processo produtivo, industrial ou não, e que não se caracterize como lixo. Ou seja, muito do que é chamado ou tido com lixo, de fato não o é, constituindo resíduo que pode ser reutilizado ou reciclável (LOGAREZZI, 2003).

Aproveitar, tratar ou destinar o que é chamado de lixo (resíduos sólidos urbanos) é uma responsabilidade da qual a sociedade não tem como se esquivar. Assim, passa ser uma questão de cidadania propor alternativas para que a sociedade trate de maneira menos impactante e a si mesma o que é atualmente considerado rejeito. E uma dessas alternativas é o reaproveitamento econômico do metano gerado por resíduos, pois o inevitável esgotamento de reservas de combustíveis fósseis no futuro e a procura crescente por combustíveis alternativos e ambientalmente sustentáveis levam ao desenvolvimento das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos que poderá colaborar na redução da emissão de gases do efeito estufa. Contudo, só será viável em situações com alta taxa de produção aliada a uma demanda pela energia produzida, o que se justifica no que diz respeito ao custo-benefício (HENRIQUES, 2004).

Os resíduos sólidos urbanos são uma fonte inesgotável de energia, pois estão sendo gerados continuamente. Quanto maior for a cidade, maior será o seu potencial de geração de energia através destes resíduos, em virtude das suas características e da quantidade produzida (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Algumas dessas rotas tecnológicas encontram-se implementadas em diversos países há algum tempo e, portanto, foram estudadas com maior profundidade as seguintes tecnologias: Gás de Lixo (GDL), Digestão Anaeróbia e Incineração.

O gás do lixo é um composto de vários gases, originado da decomposição dos resíduos sólidos nos aterros sanitários. O método para a utilização do GDL consiste basicamente na distribuição, ao longo do aterro sanitário, de uma tubulação que realize a captação do gás, o qual será armazenado sob pressão, a fim de ser utilizado para a geração de energia. Provavelmente, este deve ser o método mais aplicado para a geração de energia nos dias atuais.

A digestão anaeróbia consiste numa série de reações que ocorrem na ausência de oxigênio e convertem a matéria orgânica em biogás, mistura de metano e dióxido de carbono, utilizado na produção de eletricidade e o composto utilizado como condicionador do solo.

A incineração consiste no aproveitamento do poder calorífico do material combustível existente no lixo, para a geração de vapor. Devido à grande variedade de materiais presentes nos resíduos sólidos, os remanescentes da queima são, geralmente, constituídos de gases (CO_2 , SO_2 , N_2 e vapor d'água), cinzas e escória (materiais ferrosos e inertes). Como o enfoque é a geração de energia, é aconselhável a utilização de materiais de maior poder calorífico, como os plásticos, papéis etc.

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o aproveitamento energético dos resíduos domésticos considerando as diversas tecnologias existentes apresentando soluções viáveis para a sua destinação final.

A partir desse estudo, os objetivos específicos são:

- pesquisar diferentes tecnologias utilizadas no aproveitamento energético dos resíduos domésticos;
- analisar comparativamente a viabilidade destas tecnologias existentes para o aproveitamento energético de resíduos sólidos utilizando indicadores de sustentabilidade.

A consecução dos objetivos propostos foi possível mediante o levantamento e análise da bibliografia pertinente à temática em foco. Dentro deste contexto, da apresentação das novas possibilidades de geração de energia, este trabalho aborda a conversibilidade da energia a partir de resíduos sólidos urbanos em busca de um desenvolvimento social e econômico mais harmônico entre a natureza e o homem.

CAPÍTULO 2

RESÍDUOS SÓLIDOS

2 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Nas últimas décadas a sociedade tem estabelecido uma relação com a natureza alvo de vários questionamentos da parte de ecologistas, pesquisadores, ONGs, órgãos públicos, que tentam a todo instante alertar sobre os vários impactos ambientais causados pelas diversas atividades econômicas e estilos de vida da sociedade, que por conta da exploração intensiva dos recursos naturais colocam em risco a própria existência humana (ALMEIDA, 2008).

A produção em larga escala e o consumo exagerado acarretam além do esgotamento dos recursos naturais, o comprometimento de ambientes inteiros, já que a população não sabendo que destino dar a tantas embalagens e objetos em desuso acaba jogando-os nos rios, riachos, solos, florestas, etc. Além do aumento em si da quantidade de lixo devido ao aumento constante dos níveis de consumo, deve-se considerar o fato de que esse mesmo lixo se torna a cada dia menos orgânico, e portanto, menos degradável (ALMEIDA, 2008).

O lixo acumula-se porque é – momentaneamente – mais barato jogar fora garrafas, carros usados e velhos refrigeradores do que restituí-los ao uso. O estrume acumula-se nas fazendas, porque o fertilizante artificial é mais barato de comprar e usar; transportar o estrume para os campos e espalhá-lo exige um trabalho custoso. Os resíduos industriais são lançados nos rios ou no ar porque são subprodutos indesejáveis de um empreendimento comercial (WALLACE, 1978)

Os números impressionam: a produção de lixo doméstico, no Brasil, passou de 200 kg por habitante/ano em 1960 para 540kg em 2000, o que representa 1,5kg por dia, quantidade modesta se comparada aos 5kg diários produzido pelos norte-americanos, campeões mundiais de consumismo. Quando multiplicadas pelo número de habitantes, tais quantidades se tornam assustadoras (EQUIPE PLANETA, 2006).

A problemática dos resíduos sólidos orgânicos do saneamento deve ser também analisada na vertente do lixo, ou da geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A geração diária de RSU no Brasil é de ordem de 230 mil toneladas (IBGE, 2000). Segundo essa mesma

fonte, do total de resíduos sólidos urbanos coletados, aproximadamente 21% (porcentagem em peso) é destinado a Lixões. Esses locais não possuem infra-estrutura para a contenção dos poluentes contidos nos resíduos sólidos e líquidos, para o destino dos gases gerados; não apresentam procedimentos operacionais capazes de impedir a proliferação de vetores transmissores de enfermidades ou de restringir o acesso de pessoas, sendo, portanto, condenáveis sob os aspectos técnico e social. Cerca de 37% são lançados em aterros controlados, 36% em aterros sanitários, enquanto 2,8% desses resíduos são tratados em usina de compostagem. O restante (3,2%) é classificado para reciclagem em estações de triagem, tratado por incineração e/ou destinado a outros fins.

2.1.1 Aumento de Consumo

A abundância dos bens de consumo continuamente produzidos pelo sistema industrial é considerada, frequentemente, um símbolo da performance bem-sucedida das economias capitalistas modernas. No entanto, esta abundância passou a receber uma conotação negativa sendo objeto de críticas que consideram o consumismo um dos principais problemas das sociedades industriais modernas (PORTILHO, 2005).

Concomitantemente, o consumo cotidiano de produtos industrializados é responsável pela contínua produção de lixo. A produção de lixo nas cidades é de tal intensidade que não é possível conceber uma cidade sem considerar a problemática gerada pelos resíduos sólidos, desde a etapa da geração até a disposição final. Nas cidades brasileiras, geralmente esses resíduos são destinados a céu aberto (IBGE, 2006).

Em média, o lixo doméstico no Brasil, segundo Jardim e Wells (1995) é composto por: 65% de matéria orgânica; 25% de papel; 4% de metal; 3% de vidro e 3% de plástico. Apesar de atender a legislação específica de cada município, o lixo comercial até 50 kg ou litros e o domiciliar são de responsabilidade das prefeituras, enquanto os demais são de responsabilidade do próprio gerador.

2.1.2 Meio Ambiente

A problemática ambiental gerada pelo lixo é de difícil solução e a maior parte das cidades brasileiras apresenta um serviço de coleta que não prevê a segregação dos resíduos na fonte (IBGE, 2006). Nessas cidades é comum observarmos hábitos de disposição final inadequados de lixo. Materiais sem utilidade se amontoam indiscriminada e desordenadamente, muitas vezes em locais indevidos como lotes baldios, margens de estradas, fundos de vale e margens de lagos e rios. Entre os principais problemas de poluição, pode-se citar:

- **Poluição do solo-** Segundo Lima (1995), o lixo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, pode poluir o solo alterando suas características físicas, químicas e biológicas, que além de constituir um problema de ordem estética é uma séria ameaça à saúde pública. Por conter substâncias de alto teor energético e, por oferecer disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo, o lixo é preferido por inúmeros organismos vivos, ao ponto de algumas espécies o utilizarem como nicho ecológico.
- **Poluição das águas-** esse tipo de poluição pode causar danos aos cursos d'água da seguinte forma:
 - ✓ **Poluição física:** ocorre devido o descarte de resíduos industriais e domésticos, que influenciam diretamente na transparência, temperatura e turbulência do corpo d'água. Estas três propriedades físicas afetam a vida aquática. A transparência é importante para o crescimento das algas e penetração da radiação solar. Já temperaturas muito baixas resultam em processos biológicos lentos, ao passo que altas temperaturas são fatais para muitos organismos. Finalmente, a turbulência é um fator importante no processo de transporte de nutrientes e lixo presentes no corpo d'água. A concentração do material dissolvido e a concentração do material em suspensão interferem na transparência da água, o que dificulta a penetração da radiação solar na coluna d'água para ser utilizada como forma de energia na fotossíntese.

- ✓ **Poluição química:** está relacionada com despejos industriais em rios como detergentes não-biodegradáveis e resíduos tóxicos. As substâncias provenientes desses despejos não sofrem decomposição (ou decompõem-se muito lentamente), como: minerais, sulfatos, fosfatos, metais pesados, compostos orgânicos naturais e/ou sintéticos, etc., sendo que os dois últimos representam sérios riscos à saúde humana.
As formas aparentes de revelação deste processo são verificadas através da mudança de coloração das águas, da formação de correntes ácidas, águas duras, águas tóxicas e pode-se observar o envenenamento de peixes, aves e outros animais, inclusive o homem.

- ✓ **Poluição bioquímica:** está relacionada com a redução de oxigênio presente na água e com transporte de chorume através das águas da chuva podendo causar muitos danos como a extinção da fauna e da flora.

- ✓ **Poluição biológica:** é causada geralmente por detritos orgânicos suscetíveis à fermentação. Os detritos são representados principalmente por esgoto domiciliares e despejo industrial (papel, açúcar, serrarias, matadouros, etc.). Os esgotos domiciliares contêm, além de detritos orgânicos, restos de alimentos, sabões, detergentes etc. Os processos biológicos que ocorrem em ambientes aquáticos são responsáveis pela degradação dessas substâncias. Esses processos de fermentação de detritos resultam em grande consumo de oxigênio e formação de amônio, metano, dióxido de carbono, etc. Isto leva a uma diminuição do processo de fotossíntese de alguns organismos vegetais e morte das populações de peixes e outros organismos aquáticos.

- **Poluição do Ar** - Conforme Lima (1991), considerando a definição de lixo, verifica-se que todos os efluentes gasosos e particulados emitidos para a atmosfera, oriundos das mais diversas atividades do homem no meio urbano, podem ser considerados como lixo. Na medida em que estas substâncias apresentem concentrações maiores que os índices normais suportáveis e que sua simples presença possa produzir ou contribuir para a produção de efeitos danosos ao homem e ao meio ambiente, nestas condições, pode-se afirmar que estas substâncias são causadoras de poluição atmosférica.

2.2 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL

O problema da disposição final assume uma magnitude alarmante. Considerando apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais ao longo dos anos em apenas afastar das zonas urbanas o lixo coletado, depositando-o por vezes em locais absolutamente inadequados, como encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales. Mais de 80% dos municípios vazam seus resíduos em locais a céu aberto, em cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas, a maioria com a presença de catadores entre eles crianças, denunciando os problemas sociais que a má gestão do lixo acarreta (IBAM, 2000).

2.2.1 Pirólise

A pirólise é um processo que tem como principal aplicação o tratamento e a destinação final do lixo, sendo energeticamente auto-sustentável não necessitando de energia externa, o que desperta uma grande atenção e a faz tão fascinante do ponto de vista científico e prático. O processo de pirólise pode ser genericamente definido como o de decomposição química na ausência de oxigênio, seu balanço energético é positivo, ou seja, produz mais energia do que consome. O processo consiste na trituração de resíduos provenientes do lixo doméstico, do processamento de plásticos e industriais, que deverão ser previamente selecionados, sendo então destinados ao reator pirolítico onde através de uma reação endotérmica ocorrerão as separações dos subprodutos em cada etapa do processo (AIRES, 2003).

Através da pirólise a matéria orgânica pode ser convertida em diversos subprodutos. Segundo M. da S. Pinto, o material pirolisado pode ser dividido em três grupos:

- Gases, compostos por hidrogênio, metano e monóxido de carbono;
- Combustível líquido, composto por hidrocarbonetos, álcoois e ácidos orgânicos de elevada densidade e baixo teor de enxofre;

- Um resíduo sólido, constituído, por carbono quase puro (char) e ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória).

A pirólise é um dos processos de destinação final de resíduos sólidos mais eficiente que já foi descoberto pelo homem, porém face ao processo ser ainda custoso no que tange à sua manutenção, necessita de maior aprimoramento tecnológico. Infelizmente não existe um grande interesse por este tipo de processo de destinação final de resíduos sólidos, pois as empresas que fazem a manutenção e operação dos aterros sanitários não têm interesse que isto ocorra. Evidentemente que por ser um processo único e ecologicamente correto as poucas unidades existentes no mundo operam ainda em regime experimental, sendo assim estas unidades tem um poder de processamento baixo, o que eleva em demasiado o custo operacional (NATALI, 2001).

Talvez em dentro de algumas décadas os espaços físicos para a instalação e operação de aterros sanitários controlados estejam escassos e assim haverá uma maior atenção no aprimoramento das usinas de pirólise (LIMA, 1995).

2.2.2 Incineração

É um processo de oxidação à alta temperatura com a queima dos gases entre 1.000 e 1450 °C, no tempo de até quatro segundos, devendo ocorrer em instalações bem projetadas e corretamente operadas, onde há a transformação de materiais e a destruição dos microrganismos dos resíduos sólidos, visando essencialmente a redução do seu volume para 5% e, do seu peso, para 10 a 15% dos valores iniciais (BRASIL, 2005).

Segundo Lima (1995), a incineração é definida como processo de redução de peso e volume do lixo através de combustão controlada. Os remanescentes da incineração do lixo são, geralmente, gases como dióxido de carbono (CO₂); dióxido de enxofre (SO₂); nitrogênio (N₂); gás inerte proveniente do ar utilizado como fonte de oxigênio e do próprio lixo; oxigênio (O₂) proveniente do ar em excesso que não consegue ser queimado completamente; água (H₂O); cinza e escórias que se constituem de metais ferrosos e inertes com vidros e pedras etc.

Quando a combustão é incompleta pode aparecer monóxido de carbono (CO) e particulados que consistem de carbono finamente dividido lançado na atmosfera como fuligem ou negro fumo. Conseqüentemente se faz necessário que os incineradores contenham equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e agregados leves resultantes da combustão de resíduos (BARROS, 2002).

2.2.3 Compostagem

É um processo biológico, aeróbio e controlado, no qual a matéria orgânica é convertida através da ação de microrganismos já existentes ou inoculados na massa de resíduo, em composto orgânico (BRASIL, 2005).

Segundo Lima (1995), a compostagem é definida como o ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. O composto é a denominação genérica dada ao fertilizante orgânico resultante do processo de compostagem.

Kiehl (1979) afirma que no processo de compostagem, a matéria orgânica atinge dois estágios importantes:

- Digestão: ocorre em primeiro lugar correspondendo à fase de fermentação na qual a matéria alcança a bioestabilização;
- Maturação: a matéria atinge a humificação.

2.2.4 Reciclagem

A reciclagem dos materiais da implantação de uma série de atividades através das quais os componentes destinados banalmente ao lixo ou então no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, antes produzidos apenas com matéria-prima virgem (JARDIM, 1995).

Nos últimos anos, a reciclagem tem ganhado muita importância como método de tratamento dos resíduos sólidos. A palavra reciclagem tornou-se bastante popular. Do ponto de vista do cidadão, a reciclagem tem sido a única alternativa para o problema dos resíduos. Todavia, os programas de reciclagem devem ser cuidadosamente projetados para que um eventual fracasso não cause uma sensação de frustração na população, o que poderia desperdiçar irremediavelmente uma ferramenta de grande potencial. Programas muito pretensiosos, mal projetados e com um grande número de itens a serem reciclados, podem resultar em uma contaminação excessiva dos produtos e também em altos custos (PHILLIPI JR. e ROMÉRO, 2004).

Segundo Jardim (1995), Nunesmaia (1997), Cussioli (1996), Calderoni (1998), as principais vantagens da implantação de um programa de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos apontados na literatura são:

- Aumento de vida útil dos aterros, à medida que a quantidade de lixo a eles destinados é reduzida, principalmente a parte dos materiais não degradáveis;
- Redução do consumo de energia;
- Preservação dos recursos naturais;
- Diminuição da poluição do ar, do subsolo e das águas;
- Geração de empregos com a criação de indústrias recicladoras.

Os benefícios alcançados com a atividade da reciclagem foram considerados por CALDERONI (1998) como ganhos, em relação aos cinco materiais recicláveis (latas de alumínio, vidro, papel, plástico e aço). Relacionou-se também como benefício os diferentes componentes envolvidos, tais como: energia elétrica, matéria-prima, água, controle ambiental e os custos evitados com coleta e disposição final dos resíduos.

Deve ser fomentada e incentivada ao mais alto nível, pois muitos dos produtos residuais da atividade de certas indústrias, estabelecimentos comerciais e das residências, podem ser reutilizadas, recuperados ou usados como matéria prima para outras indústrias (RUSSO, 2003).

A ótica da viabilidade da reciclagem precisa deixar o campo econômico e avaliar os benefícios sociais e ambientais que esse processo proporciona na sociedade a curto e longo prazo. Tendo em vista que a reciclagem dos materiais objetiva proporcionar um aumento do bem-estar das pessoas, essa técnica pode ser auxiliada, segundo MOTTA (1998), com a análise social e custo-benefício, a qual atribui valores sociais a todos os efeitos da reciclagem, ressaltando-se que os efeitos negativos são custos e os efeitos positivos são benefícios.

2.2.5 Aterros Sanitários

De acordo com 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 de águas de chuva, impermeabilização da área onde os resíduos sólidos serão depositados, drenagem, tratamento do percolado, além de drenagem e queima de gases gerados) onde se devem confinar seguramente os resíduos, evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais.

Antes de se projetar um aterro sanitário devem ser realizados estudos geológicos e topográficos para a seleção da área e verificação do tipo de solo. Também deve ser feita a impermeabilização do solo, os líquidos percolados devem ser por drenos horizontais para tratamento e os gases liberados durante a composição captados por drenos verticais. O lixo é compactado e coberto diariamente com camada de terra de 20 a 40 cm (SERRA et al., 1998).

Os aterros sanitários, embora importantes, apresentam segundo alguns autores, algumas limitações como o tempo de vida razoavelmente curto e a grande dificuldade na obtenção de locais adequados para sua implantação nas proximidades dos centros urbanos, que não aqueles considerados de recarga dos aquíferos (VIANA, 1999).

2.2.6 Lixão

Os lixões ou vazadouros resultam da simples descarga do lixo a céu aberto sem levar em consideração: a área em que está sendo feita a descarga, a percolação dos líquidos derivados da decomposição do lixo, a liberação de gases para a atmosfera e a proliferação de insetos, roedores e outros animais que podem transmitir doenças ao homem (SERRA et al., 1998).

Sabe-se ainda que nos lixões, o chorume é o principal elemento impactante ao meio ambiente e é originado da decomposição da matéria orgânica contida no lixo, associada aos líquidos percolados ali existentes (D'ALMEIDA, 2000). Pelo fato de não conter qualquer tipo de impermeabilização de fundo, todo o chorume produzido vai para o solo, podendo atingir e contaminar facilmente um recurso hídrico superficial ou subterrâneo.

Acontece que ao ser inativado, um lixão continua a gerar chorume por um longo período e ao contrário do que se pensa, a reconformação dos taludes, a cobertura com camada de terra e às vezes a instalação de coletores de gases, não tornam tal método de disposição menos perigoso para a saúde da população e para o próprio meio ambiente. A geração de chorume pode alongar-se além de 15 anos após o final da deposição de lixo, dependendo de vários fatores. Um exemplo brasileiro é um aterro na cidade de São Paulo, com mais de quinze anos, que acumula diariamente aproximadamente 500 mil litros de chorume (RODRIGUES & CAVINATO, 1997).

Metais pesados também estão nos lixões podendo migrar e integrar à cadeia alimentar do homem. Estes metais estão presentes em produtos como: pilhas, lâmpada fluorescentes e frascos de aerossóis. O fato de certos frascos de aerossóis serem considerados perigosos são as substâncias que ainda são encontrados nos frascos, podendo vazar e contaminar o meio ambiente poluindo águas superficiais e subterrâneas ou migram pelo ar (D'ALMEIDA, 2000).

2.3 TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

2.3.1 Gás De Lixo (GDL)

A tecnologia de gás de lixo advém da necessidade do homem utilizar, de maneira proveitosa, os gases oriundos da disposição de resíduos em aterros ou lixões. Esta tecnologia visa resgatar esses gases e destiná-los a outros fins que não somente a sua emissão descontrolada para a atmosfera. A destinação dos RSU era feita, primeiramente, de maneira aleatória e sem sofrer as implicações das leis sanitárias e ambientais que hoje regem este tipo de atividade. Na atualidade, estas restrições institucionais imputam a esta tecnologia desafios no que concerne a extração do gás e sua aplicação dentro de padrões estabelecidos pelos entes reguladores do Estado. Quando os resíduos são depositados em aterros, ou seja, colocados e compactados a uma densidade específica, uma decomposição anaeróbia se inicia e então surge o gás de lixo. As camadas geralmente se tornam estratificadas e, uma vez que a atividade microbiana começa, a produção de GDL se inicia. (HENRIQUES, 2004).

Segundo Willumsen (2001), o gás contém aproximadamente 50% de metano, que pode ser utilizado para fins energéticos. O restante da composição contém cerca de 45% de CO₂, 3% de nitrogênio, 1% de oxigênio e 1% de outros gases (LEONE, 2003). O poder calorífico do GDL é de 14,9 a 20,5 MJ/m³, ou aproximadamente 5.800 kcal/ m³ (MUYLAERT, 2000).

2.3.1.1 Formação do Gás de Lixo

O GDL é gerado como resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro da massa de resíduos. O processo de geração do gás é governado pelos processos microbiológicos, devido à natureza orgânica da maioria dos resíduos. A decomposição dos resíduos sólidos, que está relacionada com a produção de gás em aterro sanitário, pode ser dividida em quatro ou cinco fases, dependendo do autor (EPA, 1997;

BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2004). Na Figura 2.1, é mostrado um exemplo da divisão em quatro fases.

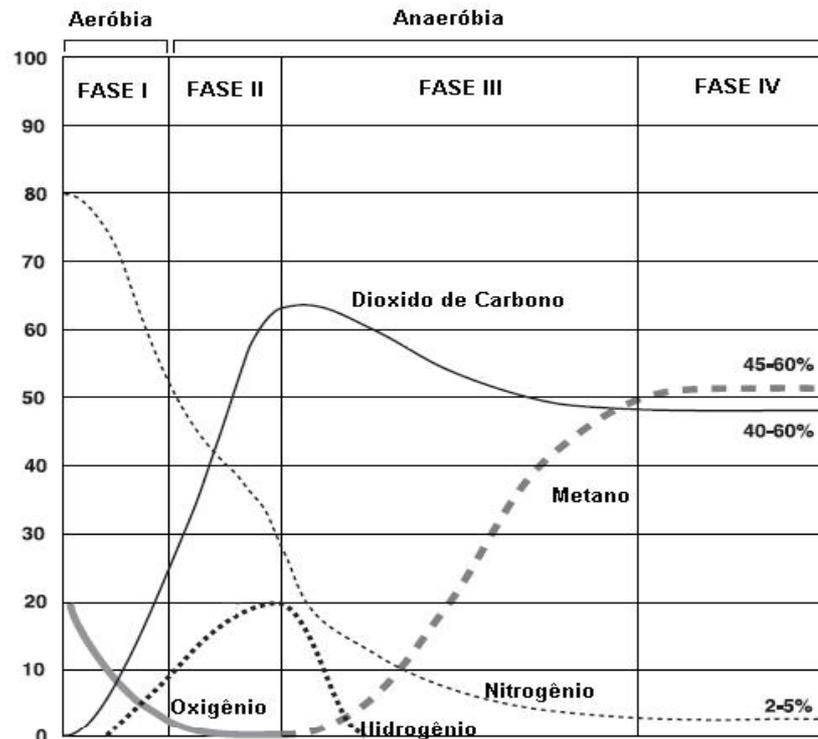


Figura 2.1 – Duração das fases variando com o tempo. Fonte: EPA (1997)

1ª fase: A primeira fase da decomposição é aeróbia, isto é, ocorre com presença de oxigênio. Nessa fase, as bactérias aeróbias consomem oxigênio enquanto metabolizam as cadeias de carboidratos complexos, proteínas e lipídios que estão contidos nos resíduos orgânicos. O primeiro gás produzido é o dióxido de carbono (CO_2). No início dessa fase, há uma grande quantidade de nitrogênio, que declina rapidamente à medida que o processo vai transcorrendo. Esta fase pode durar dias ou meses, dependendo da quantidade de oxigênio presente no resíduo quando depositado no aterro. A quantidade de oxigênio dependerá da maneira como o resíduo foi depositado e, se houve ou não compactação. BIDONE & POVINELLI (1999) descreveram-na como fase de ajustamento inicial e LIMA (2004), como fase aeróbia. Segundo LIMA (2004), a temperatura do meio se eleva para o estágio mesofílico, em função do comportamento exotérmico das bactérias aeróbias, podendo ainda, dependendo das condições de contorno, atingir o estágio termofílico, com valores variando entre 45°C e 68°C .

2ª fase: A segunda fase inicia-se após o oxigênio ter sido consumido. Nesta fase, as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbias em ácido acético, láctico, fórmico e álcoois, tais como metano e etanol. O ambiente torna-se totalmente ácido. Esses ácidos misturam-se com a umidade presente nos aterros, causando a dissolução de nutrientes e liberando nitrogênio e fósforo, disponíveis para o crescimento de diversas bactérias no aterro. Os gases produzidos são o dióxido de carbono e o hidrogênio. Caso ocorra o revolvimento da massa de resíduos ou a introdução, de alguma maneira, de oxigênio no aterro, os processos microbiológicos retornam para a primeira fase. De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), essa fase é dividida em duas: a fase de transição, em que ocorre o estabelecimento das condições de óxido-redução, e a fase de formação de ácidos, com predominância de ácidos orgânicos voláteis. Segundo LIMA (2004), é denominada como fase ácida, na qual o pH varia de 5,2 a 6,8 e a temperatura diminui para 29 a 45 °C.

3ª fase: A terceira fase também é caracterizada por um ambiente anaeróbio. Inicia-se quando certas espécies de bactérias consomem os ácidos produzidos na segunda fase e forma-se o acetato, um ácido orgânico. Neste processo, o ambiente se torna neutro, possibilitando o estabelecimento das bactérias produtoras de metano. As bactérias metanogênicas e as bactérias acidogênicas são simbióticas ou apresentam mutualismo positivo. As acidogênicas criam compostos para as metanogênicas consumirem. As bactérias metanogênicas consomem carbono e acetato que são tóxicos para a maioria das bactérias acidogênicas. Nesta fase, inicia-se a produção de metano, com a redução da quantidade de dióxido de carbono produzido. BIDONE & POVINELLI (1999) definem-na como fermentação metânica e LIMA (2004) como metânica instável. Segundo os autores (op.cit), o pH sobe e estabiliza-se na faixa de 6,8 a 7,2, e a temperatura estabiliza-se próximo de 30°C.

4ª fase: Inicia-se quando a taxa de composição e de produção de gás no aterro se mantêm relativamente constantes. Usualmente, nesta fase, o gás do aterro contém, em volume, 45% a 60% de metano, 40% a 60% de dióxido de carbono, e 2% a 9% de outros gases. Esta fase é denominada por BIDONE & POVINELLI (1999) como maturação final, caracterizada por estabilização da atividade biológica, escassez de nutrientes, paralisação da produção de gás, predominância de condições ambientais naturais, aumento do valor do potencial redox com

aparecimento de O₂ e espécies oxidadas, conversão lenta dos materiais orgânicos resistentes aos microorganismos em substância húmicas complexadas com metais. LIMA (2004) define-a como fase metânica estável. A temperatura é inferior a 30°C (próxima do ambiente), o pH estabiliza-se entre 7,0 e 7,2 e o potencial redox varia em torno de -330 a -600 mV.

2.3.1.2 Fatores que afetam a geração de gás

A capacidade de um aterro produzir gás vai depender de muitos fatores, incluindo composição e idade do resíduo, composição química, umidade, tamanho das partículas, pH, temperatura, Eh, entre outros. Descrevem-se, na seqüência, os fatores que afetam a geração de gás (ATSDR, 2006; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2005).

- **Composição do resíduo** - a maior parte dos resíduos depositados em um aterro é constituída por material orgânico, facilmente degradável. O restante consiste em vários materiais inertes como plásticos, metais, entulho, entre outros materiais não degradáveis. Quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos depositados no aterro, maior será a quantidade de gás produzido pelas bactérias durante a decomposição. Alguns resíduos degradáveis, tais como pedaços grandes de madeira, que não são inertes, mas se decompõem lentamente, na prática, não contribuem significativamente com a geração de gás.
- **Idade do resíduo** - O tempoda produção do gás metanos pode ser classificado em: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso é o período da disposição dos resíduos até o início da geração do metano. O tempo de conversão é o período da disposição dos resíduos até o final da geração do metano. Geralmente, os resíduos recentemente depositados (menos de 10 anos), geram uma quantidade maior de gás do que os resíduos mais antigos (mais de 10 anos). O pico da produção de gás em um aterro ocorre depois de 5 a 7 anos em que os resíduos foram depositados.
- **Composição química** - a análise química dos resíduos identifica a composição do substrato, possibilitando a avaliação do grau de resistência à atividade enzimática e da disponibilidade de nutrientes para os microorganismos. A relação de C/N considerada

ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1; no entanto, os RSU geralmente apresentam valores em torno de 50:1, sendo necessária a correção dessa relação por meio da suplementação de nitrogênio.

- **Umidade** - é o fator mais significativo para a taxa de produção de gás, pois, além de favorecer o meio aquoso essencial para o processo de produção de gás, serve também como transporte para os microrganismos dentro do aterro sanitário. O teor de umidade depende de outros fatores como composição gravimétrica do lixo, condições climáticas, práticas de coleta, entre outros. No Brasil, o teor de umidade dos resíduos varia de 40 a 60%. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do gás e de CH_4 . A produção máxima é atingida entre 60% e 80% de umidade.
- **Tamanho das partículas** - quanto menor a partícula de um resíduo disposto, maior será a área da superfície específica. Partículas de resíduos com área superficial maior, decompõem mais rapidamente do que uma partícula com área menor. Logo, um aterro que recebe resíduos em pedaços terá uma taxa de decomposição mais rápida e completa (i.e., rápida taxa de geração de gás) do que um aterro que recebe resíduos inteiros.
- **pH** - o potencial hidrogeniônico (pH) tem importância fundamental no processo da decomposição anaeróbia, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo. Segundo BIDONE & POVINELLI (1999) e LIMA (2005), a produção de CH_4 é máxima quando o pH situa-se na faixa de 7,0 a 7,2, sendo que, para valores abaixo de 6,0 e superiores 7,6, a atividade microbiana no aterro sanitário pode ser inibida.
- **Temperatura** - interfere nos tipos de bactérias predominantes e na taxa de produção de gás. A formação de metano pode ocorrer a uma extensa faixa de temperatura, entre 0° e 97 °C. Em ambientes anaeróbios, podem existir três faixas ótimas de temperatura: psicrófila (ainda não bem definida); mesófila (30 a 35°C) e termófila (50°C a 55°C). No aterro sanitário as máximas temperaturas frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade aeróbia microbiológica, diminuindo nas condições anaeróbias. Geralmente a temperatura nos aterros não ultrapassa 45°C, sendo difícil um aterro ser operado na faixa termófila. A temperatura ambiente não exerce influência significativa na massa de aterro, em função da mistura de resíduos e solo.

- **Eh** - a energia primária para muitos microrganismos é a energia química suprida por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que sua utilização como fonte de energia envolve reações de troca de elétrons, ou seja, reações de oxidação-redução. O Eh ótimo para produção de CH₄ é menor que -200 mV (BIDONE & POVINELLI, 1999). Segundo LIMA (2005), a produção máxima de CH₄ ocorre quando Eh atinge valores entre -300 a 600 mV, expressando que as bactérias metanogênicas requerem meios reduzidos para seu efetivo crescimento.

2.3.1.3 Sistema de coleta e extração de gás de lixo

Na maior parte das vezes a extração do gás se realiza através de tubos verticais perfurados. Esta é a forma mais simples de tirar o gás do aterro quando este já foi estabelecido. Tubos de sucção horizontais podem ser colocados quando o lixo ainda está sendo depositado no aterro. Desta forma, ele poderá ser extraído mais facilmente desde o início da sua produção, uma vez que o gás pode ser retirado antes do aterro ser coberto (ABNT, 1992; ABNT, 1995).

Um sistema padrão de coleta de GDL tem três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. Além disto, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética terá um flare para queima do excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos (HENRIQUES, 2004). A Figura 2.2 representa um sistema típico de aproveitamento do gás do lixo.

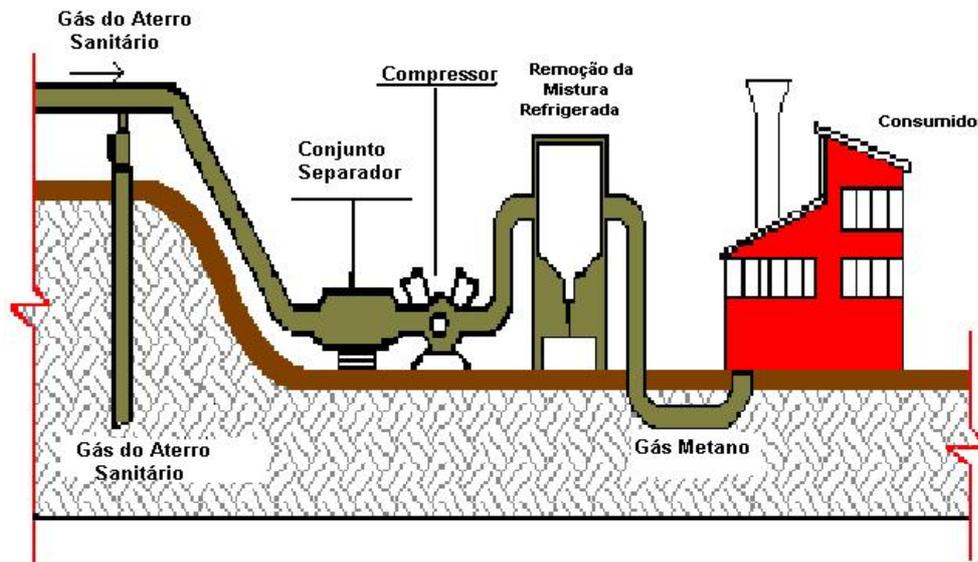


Figura 2.2 Sistema de coleta de GDL em um aterro sanitário.

a) Tubos de coleta

Existem duas configurações de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais, sendo que os poços verticais são o tipo mais usado na coleta. As trincheiras podem ser apropriadas para aterros sanitários profundos e podem ser usadas em áreas de aterro ativo (MUYLAERT, 2000). O gás é succionado do aterro por bombas ou é conduzido pelo compressor até a planta de utilização por meio de pressão nos tubos de transmissão. Para uma operação mais segura economicamente e com melhores condições para os trabalhadores, a melhor solução é ter um tubo para cada poço ligado a uma bomba e a uma casa de regulagem (WILLUMSEN, 2001).

Nos aterros onde não houve instalação prévia dos tubos de coleta existe perda de biogás, fenômeno conhecido como emissão fugitiva. Isto ocorre em decorrência da pressão positiva do biogás, que propicia o vazamento através dos caminhos preferenciais formados através da argila utilizada na cobertura. Normalmente esta emissão fugitiva é da ordem de 30% (HENRIQUES, 2004). Mesmo nos aterros projetados para recuperação do biogás existem emissões fugitivas, ainda que inferiores a 5%.

b) Compressor

Succiona o gás dos poços de coleta. Também pode ser necessário para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerá da taxa do fluxo de gás e do nível desejado de compressão que tipicamente é determinado pelo equipamento de conversão energética (MUYLAERT, 2000).

c) Sistema de tratamento de condensado

Quando o GDL produzido pelo aterro sanitário passa através do sistema de coleta, este se resfria formando um condensado. Se o condensado não é removido, este pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia. O controle de condensado começa normalmente no campo de coleta, onde tubos inclinados e conectores são usados para permitir a drenagem em tanques ou armadilhas de coleta. Estes sistemas são complementados por uma remoção de condensado pós-coleta (MUYLAERT, 2000).

d) Flare (Queimador)

É um dispositivo simples para ignição e queima do GDL. O flare é considerado como um componente de recuperação de energia porque pode ser necessário durante as etapas de início e manutenção do sistema. Os projetos incluem flares abertos e enclausurados. Estes últimos são os mais caros, mas podem ser preferíveis porque eles proporcionam testes de concentração e podem obter eficiências de combustão ligeiramente altas, bem como, podem reduzir os incômodos de ruído e iluminação (MUYLAERT, 2000).

2.3.1.4 Sistema de tratamento de gás

A utilização do GDL não deve ser feita de forma direta, uma vez que é necessário remover algum condensado que não foi coletado nos tanques de captura, assim como particulados e outras impurezas. Este procedimento deve ser feito após sua coleta e antes de sua aplicação em algum processo. As necessidades de tratamento dependem da aplicação de uso final. Um tratamento mínimo é requerido para o uso direto do gás em caldeiras, enquanto

um extensivo tratamento é necessário para remover o CO₂ para injeção em um gasoduto de metano (MUYLAERT, 2000).

As aplicações de geração de energia incluem uma série de filtros para remover impurezas que podem danificar os componentes do motor ou turbina e reduzir a eficiência do sistema. As aplicações abaixo são as que envolvem a utilização do gás de lixo em locais mais próximos da sua origem, os aterros sanitários. A utilização do gás em processos que envolvam deslocamento do gás por gasodutos podem ser aplicados também para o gás proveniente da digestão anaeróbica acelerada (MUYLAERT, 2000).

Segundo Magalhães (2004), a remoção do CO₂ faz com que o percentual de CH₄ no biogás se eleve, tornando seu poder calorífico maior. Esta remoção do CO₂ pode ser realizada mediante absorção física, absorção química ou separação por membrana. Nas absorções física e química, um componente se absorve, preferencialmente, utilizando um solvente adequado. A separação mediante membrana implica o uso de uma membrana semipermeável para separar o CO₂ do CH₄. Existem membranas em forma de lâminas planas ou em fibras ocas que já são utilizadas.

- **Uso direto do gás de lixo** - unidades de consumo situadas próximas aos aterros sanitários com produção e gás de lixo podem fazer o uso deste diariamente. Como por exemplo, do que ocorre no Reino Unido, onde alguns aterros são instalados em velhas minas de argila, próximas a olarias. Muitas dessas fábricas usam gás natural nas estufas e utiliza, quando disponível, o gás de lixo utilizado em mistura com o gás natural. Uma outra possibilidade consiste em usar o gás em estufas para a produção de cimento (WILLUMSEN, 2001).
- **Evaporação do chorume** - o tratamento deste é um dos muitos pontos de interesse ambiental quando é abordada a operação em aterro. O projeto, a construção e os custos de operação podem influenciar pesadamente devido à necessidade de tratamento do chorume. Este pode ser tratado em uma estação normal de tratamento de água. Em alguns casos, ele é recirculado no aterro, no qual ocorre um processo “auto-limpante” deste efluente. Uma outra possibilidade é o uso de gás de lixo como combustível para evaporação do chorume (WILLUMSEN, 2001).

2.3.1.5 Sistema de Geração ou Recuperação de Energia

De acordo com Oliveira (2004), um projeto de aproveitamento energético do GDL tem por objetivo convertê-lo em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor etc. Existem várias tecnologias produzindo essas formas de energia, como:

- Uso direto do gás de médio poder calorífico - sua utilização em caldeiras ou uso em processos industriais é a forma mais simples de uso e de maior custo-efetividade. O gás é transportado por um gasoduto diretamente para um consumidor próximo, para ser usado em equipamentos de combustão, em substituição, ou como suplemento do combustível tradicionalmente usado. Nesse caso, é requerida uma baixa remoção de condensado e um tratamento de filtração.
- Produção de energia/co-geração – O GDL é usado, principalmente, como combustível para a geração de energia. Este é um método vantajoso, pois agrega valor ao GDL. A co-geração de eletricidade e energia térmica, vapor a partir do GDL, pode ser uma alternativa ainda melhor. A eficiência da geração elétrica isolada varia de 20 a 50% e, com uso da cogeração, obtém-se eficiências mais altas pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração.
- Venda de gás de qualidade através de gasodutos – Uma outra opção é depuração do GDL para um produto de alto poder calorífico (gás natural) para injeção em um gasoduto. Essa aplicação requer um tratamento intenso de gás para remover o C_{O_2} e as impurezas. As companhias de gás requerem que as injeções de gás em seus sistemas de gasodutos atendam a exigentes padrões de qualidade, o que pode requerer controle de qualidades adicionais.

2.3.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA (D.A)

Segundo Henriques (2004), a tecnologia de digestão anaeróbia acelerada advém da necessidade em otimizar a decomposição dos resíduos de maneira controlada. Consiste numa série de reações que, na ausência de oxigênio, convertem a matéria orgânica dando origem a dois subprodutos:

- Biogás - mistura de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) utilizado na produção de eletricidade.
- Composto - que pode ser utilizado como condicionador do solo.

Geralmente os processos de digestão anaeróbica podem ser divididos em quatro estágios: pré-tratamento, digestão de resíduo, recuperação de gás e tratamento de resíduos. Muitos sistemas de digestão requerem pré-tratamento de resíduos para obter uma carga homogênea. O processamento envolve separação do material não digerível. Os resíduos recebidos pelo digestor da digestão anaeróbia normalmente vêm de coleta seletiva ou de seleção mecânica. A separação assegura a remoção de materiais indesejáveis ou recicláveis, como o caso de vidros, metais, pedras, etc. Na coleta seletiva, os materiais recicláveis são removidos dos resíduos orgânicos na fonte. A separação mecânica pode ser empregada se a coleta seletiva não está disponível. No entanto, a fração resultante é mais contaminada, conduzindo então para compostos de pior qualidade (VERMA, 2002; VERSTRAETE, 2002).

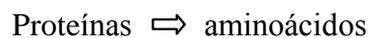
Dentro do digestor a carga é diluída para atingir o teor de sólidos desejado e continuar no digestor pelo tempo de retenção designado. Para diluição, uma ampla variedade de fontes de água pode ser utilizada, como água limpa, água de esgoto ou líquido recirculante do efluente de digestor. Um trocador de calor é normalmente requerido para manter a temperatura no vaso de digestão. O biogás obtido na digestão acelerada é depurado para obter gás de qualidade suficiente para passar nos dutos. Caso haja tratamento residual, o efluente do digestor é desidratado e o líquido reciclado para ser usado na diluição da carga que entra. Os bio-sólidos são aerobicamente tratados para obter um composto como produto (HENRIQUES, 2004).

2.3.2.1 Etapas do processo

Segundo Verma (2002), a biodegradação de materiais orgânicos ocorre na ausência de oxigênio e na presença de microrganismos anaeróbicos. Digestão anaeróbica é a consequência de uma série de interações metabólicas entre vários grupos de microrganismos. Isso ocorre em três estágios:

- **Hidrólise/liquefação:** bactérias fermentativas convertem o complexo insolúvel de substância orgânica, como a celulose, em moléculas solúveis, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. A complexa substância polimérica é hidrolisada por enzimas hidrolíticas (lípsases, proteases, celulasas, amilases, etc) em monômeros, ex. celulose em açúcares ou alcoóis.

Reações de hidrólise/liquefação:

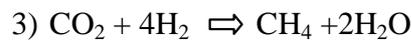
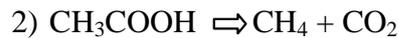


- **Acetanogênese:** no segundo estágio, a bactéria acetanogênica, também conhecida como formadora de ácidos, converte o produto da primeira fase para ácidos orgânicos simples, dióxido de carbono e hidrogênio. Os principais ácidos produzidos são ácido acético (CH_3COOH), ácido propiônico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$), ácido butírico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) e etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (RISE-AT, 1998). A reação de acetanogênese é mostrada abaixo:



- **Metanogênese:** finalmente, no terceiro estágio, o metano é produzido por uma bactéria conhecida como formadora de metano de duas maneiras: ou por meio de quebra das moléculas de ácido acético gerando dióxido de carbono e metano, ou pela redução de dióxido de carbono com hidrogênio. A produção de metano é

maior pela redução do dióxido de carbono com hidrogênio, mas o limite para a concentração de hidrogênio nos digestores faz com que a reação com acetato seja a principal produtora de metano. Segundo RISE-AT (1998), as reações de metanogênese podem ser expressas conforme segue abaixo:



Todas as etapas citadas anteriormente podem ser observadas na Figura 2.3.

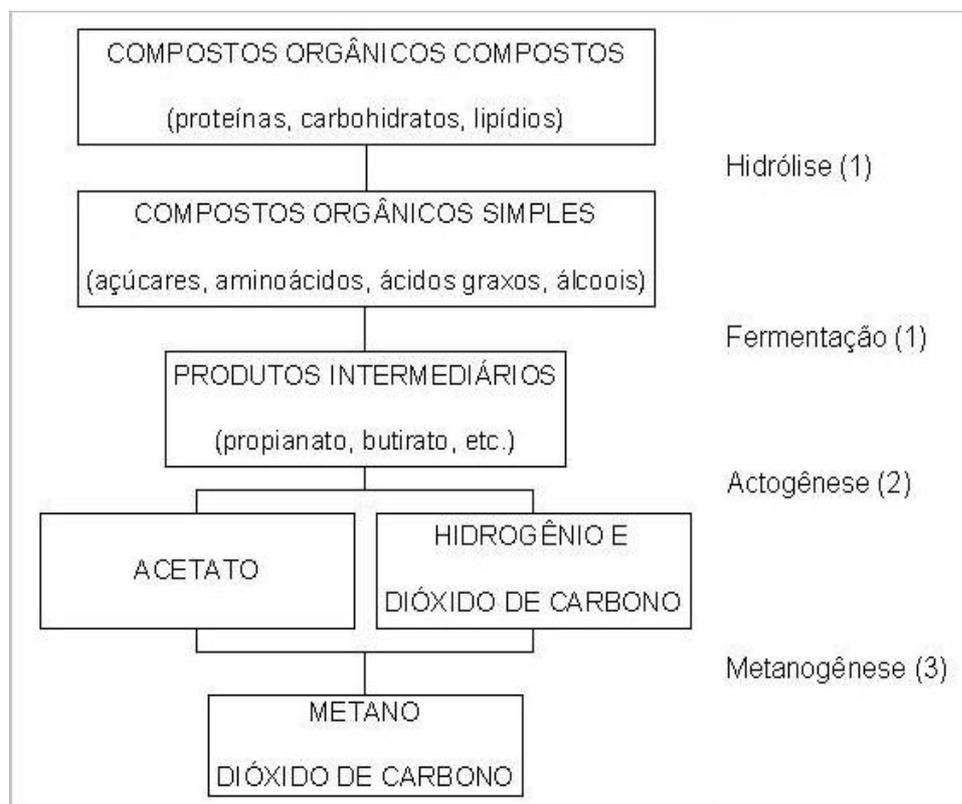


Figura 2.3 Etapas da digestão anaeróbica.

Segundo Lay et al. (1998), a digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos, especialmente da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos, é de grande importância no manejo de resíduos sólidos. Diversos tipos de reatores têm sido desenvolvidos

para o tratamento de fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, incluindo os reatores de fluxo contínuo e em batelada.

Os métodos da digestão usados para tratar resíduos sólidos urbanos anaerobicamente podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias:

- **Sistemas de um estágio** – são aqueles em que as etapas acidogênicas e metanogênicas da digestão anaeróbia ocorrem em um único reator. Aproximadamente 90% dos digestores anaeróbios existentes na Europa funcionam em um estágio, podendo ser de digestão úmida ou de digestão seca (De BAERE, 1999). A preferência por esse sistema de tratamento, principalmente entre as indústrias, está no fato de seu projeto ser simples, sofrer menos falhas técnicas e exigir baixo investimento (VANDEVIVERE et al., 2002).
- **Sistema de dois estágios** - é composto por dois reatores: no primeiro predomina a ação dos microrganismos hidrolíticos e formadores de ácidos, e no segundo ocorre a ação dos microrganismos acetogênicos e metanogênicos. Com as principais etapas da digestão anaeróbia acontecendo em reatores distintos, é possível aumentar a velocidade de metanogênese por meio da implementação de mecanismos de retenção de biomassa no segundo reator, ou outros meios. O uso do sistema de dois estágios é ideal para a degradação de substratos complexos, como a celulose e a lignina, que em muitos casos são os fatores limitantes da degradação anaeróbia (WEILAND, 1992; KÜBLER & WILD, 1992).
- **Sistemas em batelada**- Os digestores são preenchidos em sua totalidade e de uma única vez, com os resíduos frescos, podendo ser adicionado ou não um inóculo, permitindo passar por todas as etapas da degradação anaeróbia em modo seco, isto é, com um teor de sólidos totais entre 30% e 40%. Ao término do período de tratamento, os resíduos, já estabilizados, são removidos e inicia-se um novo ciclo, com a introdução de nova batelada de resíduos. A principal marca do sistema em batelada é a clara separação entre a primeira fase, em que a acidificação prossegue de forma muito mais rápida do que a metanogênese, e a segunda fase, em que os ácidos são transformados em biogás (WEILAND, 1992; KÜBLER & WILD, 1992).

2.3.2.2 Importantes Parâmetros de Operação no Processo de D.A

- **Composição de resíduos/sólidos voláteis (SV)** – o composto tratado por digestão acelerada poderá conter fração orgânica (sobras de cozinha, resíduos de comida, grama etc), a fração combustível (papel, papelão) e uma fração inerte, tais como pedras, vidros, areia, metal, etc (HENRIQUES, 2004);
- **Nível de pH**- foi determinado que um ótimo valor de pH para a digestão anaeróbica fica entre 5,5 e 8,5 (VERMA, 2002), ou entre 6,8 e 8,0 (ITALIA, 1998);
- **Temperatura**- existem duas faixas de temperatura que proporcionam ótimas condições de digestão para a produção de metano. A faixa mesofílica fica entre 20-40°C e a temperatura ótima é considerada entre 30-35°C. A faixa termofílica de temperatura é entre 50-65°C (ITALIA, 1998; VERMA, 2002);
- **Taxa carbono/nitrogênio (C/N)**- é a relação entre a quantidade de carbono e nitrogênio presentes nos materiais orgânicos. Taxas ótimas de C/N para a digestão acelerada estão entre 20-30 (VERMA, 2002);
- **Conteúdo de Sólidos Totais (ST)/ Taxa de Carga Orgânica (TCO)**- são considerados sistemas de digestão acelerada de baixo sólido (BS) os que contém menos de 10% de ST, médio sólido (MS) cerca de 15-20% e alto sólido (AS) processos na faixa de 22-40% (VERMA, 2002; VERSTRAETE, 2002);
- **Tempo de retenção**- varia com as tecnologias, temperatura do processo e composição de resíduos. O tempo de retenção para resíduos tratados em digestores mesofílicos varia de 10 a 40 dias. Um reator de alto sólido operando em sistema termofílico tem um tempo de retenção de 14 dias (VERMA, 2002).

2.3.2.3 Obtenção de energia

O uso mais conhecido do biogás é em motor de combustão interna, acoplado a um gerador produzindo energia elétrica. Uma planta típica para disponibilizar energia com motor a gás atinge potência entre 350 e 1200 kW por motor. Em alguns países da Europa é também normal usar o “resto” de calor das torres de resfriamento, sistema de resfriamento e óleo exausto do motor. Isto é, no entanto, pouco usual nos Estados Unidos, embora mais de 50% da energia disponível seja perdida (WILLUMSEN, 2001).

Em plantas maiores, nas quais a potência situa-se em torno de 4MW, turbinas a gás são utilizadas algumas vezes, e em plantas muito grandes turbinas a vapor podem ser utilizadas também. A maior turbina a vapor no mundo movida a gás de lixo possui uma potência instalada de 45MW (WILLUMSEN, 2001).

A obtenção de energia elétrica é vantajosa porque esta produz valor agregado para o biogás. A co-geração de eletricidade e energia térmica (vapor) a partir do biogás pode ser uma alternativa melhor. A eficiência da geração elétrica isolada varia de 20 a 50% e com o uso de co-geração, obtém-se eficiências mais altas pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração. Este pode ser usado localmente para aquecimento, refrigeração, para outras necessidades de processo, ou ainda transportado por tubo para uma indústria ou comércio próximo, obtendo um segundo rendimento para o projeto (HENRIQUES, 2004).

Várias tecnologias existem para a geração de energia elétrica: motores de combustão interna, turbinas de combustão, e turbinas com utilização do vapor (ciclo combinado). A princípio existem dois tipos de plantas de motor a gás: motores alternativos de combustão interna por centelhamento e motores de dois combustíveis. Motores de combustão interna por centelhamento podem ser utilizados em plantas de ciclo combinado com capacidade de 20 kW a 6-8 MW de potência. Motores com dois combustíveis não foram feitos para pequenas capacidades. Motores alternativos de combustão interna por centelhamento, são feitos em larga escala e o projeto é relativamente simples. Consequentemente, eles não são tão caros quanto os motores de dois combustíveis, por esta razão muitos motores usados são do tipo ignição com faísca (WILLUMSEN, 2001).

Ambos são motores com pistão. Em motores de combustão interna por centelhamento, plugs de faísca são utilizados para dar ignição no gás, enquanto motores de dois combustíveis, 5-8% de combustível diesel é injetado para iniciar a ignição. O sistema de injeção implica naturalmente de dois combustíveis que podem ser trocados rapidamente para operações com 100% de diesel (WILLUMSEN, 2001).

As plantas de ciclo aberto apresentam-se como possibilidade para o uso do biogás. Uma vez que ele esteja separado do CO₂ (o que faz com que haja um aumento de rendimento) ele pode ser usado em turbinas à gás. Essas turbinas têm um desempenho um pouco inferior as das plantas de ciclo combinado, mas também se mostram eficientes para a conversão em energia.

2.3.3 INCINERAÇÃO

Consiste de um processo de reciclagem da energia liberada na queima dos materiais, visando a produção de energia elétrica e de vapor, que pode ser imediatamente convertido em frio (CALDERONI, 1999).

A redução de volume é geralmente superior a 90% e em peso superior a 75%. Para a garantia do meio ambiente, a combustão tem que ser continuamente controlada, levando-se em conta que o combustível (lixo urbano) é “desconhecido”, isto porque varia ao longo do tempo em composição, umidade, peso específico e poder calorífico. Por isso, os sistemas modernos de incineração de lixo são dotados de sistemas computadorizados de controle contínuo das variáveis de combustão, tanto na câmara primária quanto na de pós-combustão, bem como nas demais etapas de depuração de gases e geração de energia (MENEZES et al, 2000).

Os remanescentes da incineração do lixo são, geralmente, gases como dióxido de carbono (CO₂); dióxido de enxofre (SO₂); nitrogênio (N₂); gás inerte proveniente do ar utilizado como fonte de oxigênio e do próprio lixo; oxigênio (O₂) proveniente do ar em excesso que não consegue ser completamente queimado; água (H₂O); cinza e escórias que se constituem de metais ferrosos e inertes com vidros e pedras etc (LIMA, 1991).

2.3.3.1 Descrição do processo de incineração

No Brasil, a incineração é utilizada somente para resolver a questão da disposição final de resíduos perigosos e parte dos resíduos hospitalares. No entanto, não se faz o uso do aproveitamento energético. Seriam necessários alguns aprimoramentos tecnológicos para permitir esse aproveitamento de forma economicamente viável e ambientalmente correta. Algumas iniciativas nesse sentido estão sendo implementadas em Campo Grande-MS e Vitória-ES. Em países como Estados Unidos, Japão e a maioria dos países europeus, a incineração já é utilizada para a queima controlada do lixo. A concepção moderna de incineração de lixo municipal é uma queima extremamente controlada e envolve tipicamente duas câmaras de combustão (OLIVEIRA, 2004).

A câmara primária é a receptora direta do lixo. Nesse dispositivo, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 900°C. Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é sub-estequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. Ao final da operação, a parte sólida é reduzida a cerca de 4 a 8 % do volume original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil (MENEZES, 1999).

Já a fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária. Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura varia entre 1000°C e 1250°C. Agora, os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a CO₂ e H₂O. Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é praticamente zero (MENEZES, 1999).

Os gases provenientes desta segunda etapa passam por um sistema de abatimento de poluição, que consiste em muitos estágios (por exemplo, scrubber para a remoção de ácido no gás, precipitador eletrostático para a remoção de poeira e/ou filtros para a remoção de partículas finas), antes de serem enviadas para a atmosfera via uma chaminé. As restritas

regulamentações de emissões algumas vezes requerem o uso de carvão ativo no sistema de abatimento, para que haja redução da emissão de mercúrio e dioxinas (MENEZES, 1999).

A Figura 2.4 mostra um esquema representativo de uma câmara de combustão. Como pode ser visto, o lixo entra na primeira câmara onde é injetado ar e, se necessário, um combustível auxiliar. Os gases sobem para a segunda câmara onde mais ar e combustível são injetados. Após esta etapa, os gases seguem para o sistema de tratamento. Os descartes (ou cinzas) ficam depositados na primeira câmara e são retirados depois.

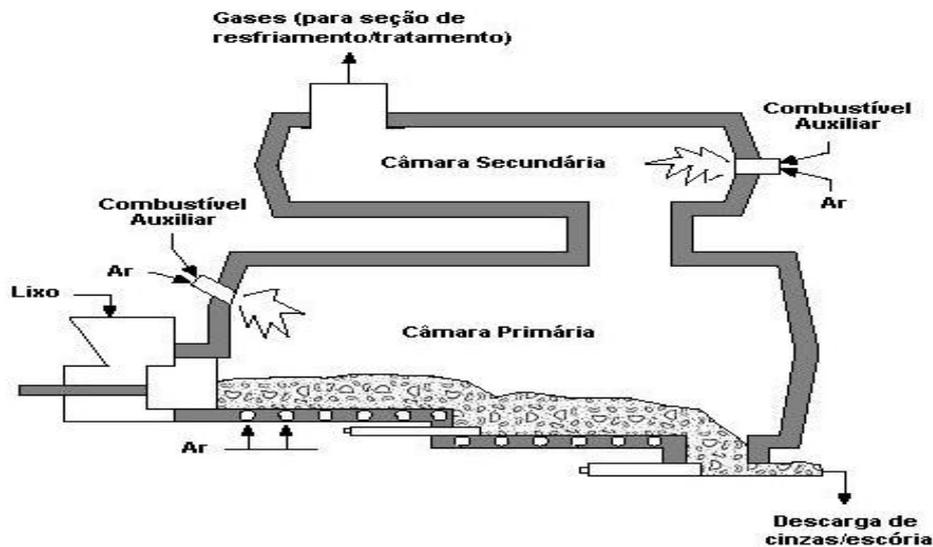


Figura 2.4 Esquema representativo de dupla câmara de combustão.

Após a incineração, a parte sólida é tirada da grelha. A quantidade deste material sólido após o processo de incineração varia de 12 a 30% em massa (de 4 a 10% em volume) do material original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil (tijolos, capeamento de estradas, etc.). Frequentemente este é levado para aterros sanitários, embora possa ser utilizado na construção de aterros (MORGADO & FERREIRA, 2006).

Assim que materiais combustíveis orgânicos forem removidos, este resíduo não se degrada para formar gás de aterro. O resíduo é normalmente tratado para que haja a recuperação de materiais ferrosos; não ferrosos, que podem também ser recuperados em certas circunstâncias. Uma pequena quantidade de finas partículas é carregada para fora da câmara

de combustão pela exaustão dos gases (frequentemente leves cinzas aquecidas); isso é coletado no precipitador ou no filtro (MORGADO & FERREIRA, 2006).

- **Tratamento dos gases de combustão**

O tratamento desses gases envolve processos físicos e químicos, havendo uma variedade de opções de conformação e equipamentos. A primeira etapa consiste em resfriar os gases que saem a 1000°C a 1200°C da câmara secundária. Nessa etapa, além de resfriarem-se os gases de combustão, gera-se vapor d'água que pode ser utilizado na geração de energia elétrica, sistema de aquecimento ou mesmo sistema de refrigeração (OLIVEIRA, 2004).

Em seguida, os gases são neutralizados com a injeção de hidróxido de cálcio (dry scrubber), altamente eficiente na neutralização e captura de SO_x e HCl. Os gases já resfriados e neutralizados passam então por um sistema de filtros (filtros-manga) que retiram o material particulado (fuligem, sais e hidróxido de cálcio) de dimensão de até 0,3 mm. Em algumas conformações utilizam-se outros sistemas, como precipitadores eletrostáticos, lavadores venturi, ciclones, etc (OLIVEIRA, 2004).

Finalmente, os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado (leito fixo ou fluidizado), de alta área superficial que possui tripla ação:

- a) Retenção de óxidos nitrosos:** evita-se picos de geração de NO_x , eventualmente formados por distúrbios na câmara secundária, inibindo que sejam emitidos abruptamente para a atmosfera;
- b) Retenção de organoclorados:** ação preventiva quanto à emissão de dioxinas por algum problema na câmara secundária;
- c) Retenção de metais voláteis:** O material adsorvente atua como uma “peneira molecular” retendo metais voláteis. Tanto por injeção, como através de um leito fixo, o material adsorvente possui comprovadamente altíssima eficiência na retenção de metais.

Tanto os filtros mangas como os leitos de carvão funcionam tipicamente entre 150 e 200°C. A perda de calor ao longo do próprio tratamento de purificação de gases faz com que a

temperatura na saída da chaminé seja inferior a 120°C. Com a incineração controlada dos resíduos sólidos urbanos é possível com 500 toneladas diárias, abastecer uma usina termelétrica com potência instalada de 16 MW, o que representa um potencial energético de cerca 0,7 MWh/t (OLIVEIRA, 2004).

2.3.3.2 Instalação das usinas de incineração

Segundo Henriques (2004), a instalação de incineração engloba:

- O local de implantação da instalação;
- O conjunto constituído pelo incinerador e respectivos sistemas de alimentação;
- Os aparelhos e dispositivos de controlo das operações de incineração;
- Produtos finais da incineração dos resíduos:
- Energia calorífica;
- Gases, contendo metais pesados e dioxinas;
- Cinzas e escórias, que podem ter compostos tóxicos;
- Água contaminada, resultante do arrefecimento das escórias ou da lavagem dos gases de descarga.

De acordo com GRIPP (1998), usinas de Incineração de Resíduos são o conjunto das instalações necessárias para viabilizar o tratamento térmico dos resíduos, podendo apresentar várias concepções em função do tipo de combustível a ser incinerado, do volume e da tecnologia utilizada. Geralmente essas usinas ficam próximas ou mesmo inserida, em centros urbanos, onde está a geração dos resíduos, o que requer uma avaliação das vias de acesso, das áreas disponíveis, do uso e ocupação do solo, das características socioambientais do local (aglomerações urbanas, presenças de catadores, características climáticas, existência de nascentes e corpos hídricos etc.).

Conforme descrito pelo IPT/CEMPRE (1995) vários aspectos devem ser verificados quando da escolha do local para se instalar uma usina de incineração, dentre os quais pode-se citar: planos de desenvolvimento para uso futuro da área; proximidades da fonte de geração do lixo e dos mercados consumidores da energia, quando for o caso; zoneamento urbano e sistema viário; acesso a um aterro adequado para a disposição das cinzas e tecnologia de incineração a ser usada.

2.3.3.3 Incineração com aproveitamento energético

A incineração dos resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético, quer seja para a geração de energia elétrica quer seja para geração de vapor ou ar refrigerado, é uma alternativa que vem sendo empregada para solucionar os problemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, principalmente nos países da Europa, Estados Unidos e Japão (GRIPP, 1998).

No Brasil, a incineração teve maior aplicação para o tratamento térmico dos resíduos dos serviços de saúde. Devido à má operação dessas unidades e à falta de controle quanto às emissões atmosféricas, a incineração passou a ser vista com grandes ressalvas não só pelas comunidades locais como por vários profissionais da área ambiental. Sendo assim, a utilização da incineração com aproveitamento energético ainda é bastante incipiente (MENEZES et al., 2000)

Dada a crise energética dos últimos anos e a busca por tecnologias alternativas de geração de energia que venham complementar a matriz energética brasileira, que está calcada na hidroeletricidade, a utilização de resíduos sólidos em processos termelétricos de co-geração ganhou espaço no País. A queima de pneus usados e outros resíduos em fornos de clínquer, inclusive com regulamentação no Conselho Nacional de Meio Ambiente e a utilização da biomassa do bagaço de cana em processos de co-geração com gás natural são exemplos dessa busca por novas tecnologias que contribuem para a geração de energia e, ao mesmo tempo, propiciam uma destinação final adequada aos resíduos sólidos.

O aproveitamento energético poderá contribuir para o equilíbrio econômico do gerenciamento e disposição dos resíduos sólidos municipais. Conforme citado por

IPT/CEMPRE (1995), as usinas de incineração de lixo diferem da maioria dos serviços públicos porque geram a energia que poderá ser comercializada, gerando uma receita para o município. Para Bizzo e Goldstein (1995), o objetivo principal da incineração é a disposição do lixo, sendo a produção e venda da energia elétrica um subproduto, que irá, sem dúvida, diminuir os custos da incineração e da destinação a aterros.

O Brasil engatinha no que diz respeito à reciclagem /recuperação de energia. Não há efetivamente hoje no Brasil projetos representativos neste aspecto, enquanto, a nível mundial, a tendência é a de aproveitar os resíduos urbanos para a geração de energia. Em vários países pode-se encontrar termelétricas movidas a carvão e lixo em fornos contíguos e com os ciclos de vapor integrados na geração de energia elétrica. No Brasil, deveria-se considerar a implantação de termelétricas à gás e lixo e, desta forma buscar equacionar ambos os problemas: de energia e do tratamento ambientalmente correto do lixo, para atender as exigências do meio ambiente.

Não é concebível hoje um projeto de tratamento de RSU sem a reciclagem de energia. Em números aproximados pode-se afirmar que 1 tonelada de RSU equivale a 200 kg de carvão ou 250 kg de combustível, 30 t de água quente ou ainda 500 kWh de energia elétrica. O calor recuperado pela incineração pode representar cerca de 6 a 7 % da energia consumida pela população que gera o RSU, e a energia recuperada em um sistema de tratamento de RSU tem sido utilizada para:

- Gerar água quente para o próprio processo e distribuição a hospitais, piscinas municipais e sistemas de calefação;
- Gerar vapor para uso industrial;
- Gerar energia elétrica para uso na planta e distribuição local;
- Gerar frio convertido a partir do vapor, para uso em sistemas de condicionamento de ar para indústrias, shopping centers, aeroportos, etc.

A tecnologia atualmente disponível de projeto de incineradores pode prever a geração de até 0,95 kWh/t processada, sendo que a grande maioria dos sistemas instalados gera de 0,4 a 0,95 kWh/t de capacidade. Naturalmente esta geração dependerá fortemente do poder calorífico do RSU processado (HENRIQUES, 2004).

A experiência atual indica que a geração de energia elétrica se torna rentável em instalações com capacidades de processamento acima de 250 t/dia. Abaixo desta capacidade a energia é normalmente aproveitada apenas para uso da própria planta (HENRIQUES, 2004).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DA PESQUISA

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 BASE CONCEITUAL

A consecução do presente estudo foi possível mediante o levantamento bibliográfico de estudos realizados ao tema pertinente à temática em foco e, a partir dos mesmos, foram escolhidas 3 tecnologias utilizadas para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos com base na literatura. Dentre as mesmas, pode-se considerar a tecnologia de Gás de Lixo como simples por ser confundida muitas vezes como um lixão, entretanto esta pode ser considerada um aterro sanitário com captador de gases provocados pela decomposição dos resíduos, a Incineração como complexa devido ao seu alto custo de operação e manutenção e a Digestão Anaeróbia como intermediária, pois se trata de uma tecnologia bastante abrangente, podendo se tratar do modelo mais simples ao mais complexo

O desenvolvimento deste projeto fundamentou-se em pesquisas bibliográficas específicas de âmbito nacional e internacional, livros e informações obtidas através de busca na Internet, em sites que ofereçam confiabilidade como periódicos e IBGE, buscando referências, conceitos, instrumentos legais relacionados a essa temática e experiências nacionais e internacionais das referidas tecnologias.

3.2 LINHAS DE ATUAÇÃO E QUESTÕES DE ESTUDO

3.2.1 Linhas de atuação

Este trabalho apresenta duas linhas de atuação integradas: a primeira condiz com o assunto resíduos sólidos abrangendo seu conceito, classificação, tipologia, geração e coleta, formas de tratamento e destinação final e os seus principais problemas e a segunda condiz com a resolução desses problemas através das tecnologias de aproveitamento energético

minimizando os impactos ambientais ocasionados pelo descarte do lixo em grandes áreas (aterros sanitários) num momento onde as demandas por energia é crescente.

3.2.2 Questões de estudo

Muitas regiões metropolitanas não encontram mais espaço para depositar os resíduos diariamente e as questões de estudo que surgem são:

- O que fazer com tantos resíduos?
- Existem soluções para eles?

Partindo-se dessas questões, este trabalho poderá subsidiar informações ao governo municipal objetivando soluções às questões dos Resíduos Sólidos Urbanos e seus principais problemas, principalmente, a falta de espaço para a destinação final dos mesmos e as questões sócio-econômica e ambiental.

3.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DAS TECNOLOGIAS

Um indicador é uma variável que, em função do valor que assume em determinado tempo, revela significados que não são aparentes imediatamente, pois existe um construtor cultural e de significado social que se associa ao mesmo. Portanto, nem todas as estatísticas podem ser consideradas indicadores, pois para entrar nesta última categoria, o dado considerado deve fornecer diversas informações importantes, a um grupo determinado de pessoas, sem lugar a dúvidas ou interpretações falsas. Os indicadores permitem sintetizar informação sobre uma realidade complexa e variável, pois são em si informação seleta e processada, cuja utilidade tem sido predefinida e sua existência justificada (QUIROGA, 2002).

Os indicadores de sustentabilidade mostram as variações de valores ou estados de determinada variável, que se apresentando distintos no tempo, sinalizam aspectos

fundamentais ou prioritários no processo de desenvolvimento, particularmente em relação às variáveis que afetam a sustentabilidade destas dinâmicas (QUIROGA, 2002).

Baseando-se na metodologia de Milanez que utilizou modelos de indicadores específicos para RSU também embasado na temática de sustentabilidade. Este modelo, composto por 12 indicadores, atribui três parâmetros de tendência para avaliar a sustentabilidade expressa por cada indicador: (MD) tendência muito desfavorável, (D) tendência desfavorável e (F) tendência favorável. A partir desta metodologia, criou-se 12 indicadores, conforme a Tabela 3.1, comparando as tecnologias empregadas para o aproveitamento energético, dentre os quais tem-se:

- **Indicadores Ambientais**

- (1) Emissão de gases evitada por cada tecnologia (t lixo/ M Wh);

- **Indicadores Econômicos**

- (2) Investimento (US\$/kW);

- (3) Custo de operação e manutenção (US\$/M Wh);

- (4) Quantidade de toneladas/dia;

- (5) Vida útil (anos);

- (6) Prazo de instalação (meses);

- (7) Custo de combustível (US\$/ M Wh);

- (8) Obtenção de energia elétrica (TWh/ano).

- **Indicadores Sociais**

- (9) Fornecimento de subsídios para mitigação de problemas ambientais;

(10) Existência de canais de participação popular no processo decisório a respeito do aproveitamento energético de resíduos.

- **Indicador Político**

(11) Existência de legislação que regulamenta este setor.

- **Indicador Cultural**

(12) Existência de conhecimento da população a respeito deste setor.

É importante ressaltar que as dimensões tiveram igualdade de peso sem alguma prevalência que possa interferir nos resultados.

Tabela 3.1 Conjunto proposto de indicadores de sustentabilidade comparando as referidas tecnologias. Modificado de Millanez (2002).

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade |
|---------------------------|--|---|
| Dimensão ambiental | Emissão de gases evitada por cada tecnologia (t lixo/ MWh) | (MD) < 2 (D) 2-4 (F) > 4 |
| | Investimento (US\$/kW) | (MD) Custo de investimento > 1500 (D) Custo de investimento 1000-1500 (F) Custo de investimento < 1000 |
| Dimensão econômica | Custo de operação e manutenção (US\$/MWh) | (MD) > 10 (D) 10 (F) < 10 |
| | Quantidade de toneladas/dia | (MD) Produção de resíduos de 100-200 (D) Produção de resíduos de 300-400 (F) Produção de resíduos > 400 |
| | Vida útil (anos) | (MD) 10-19 (D) 20-29 anos (F) 30 anos ou mais |
| | Prazo de instalação (meses) | (MD) > 15 (D) 10-15 (F) < 10 |
| | Custo de combustível (US\$/ M Wh) | (MD) > 1 (D) 0 (F) < 1 |
| | Obtenção de energia elétrica (TWh/ano) | (MD) Produção de 15-30; (D) Produção de 30-45 (F) Produção > 45 |

Tabela 3.1 (Continuação) Conjunto proposto de indicadores de sustentabilidade comparando as referidas tecnologias (Continuação). Modificado de Millanez (2002).

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade |
|--------------------------|--|--|
| Dimensão cultural | Existência de conhecimento da população a respeito deste setor | (MD) Inexistência de conhecimento (D) Existência de conhecimento parcial sobre o tema (F) Existência de conhecimento significativo |
| Dimensão social | Fornecimento de subsídios para mitigação de problemas ambientais Existência de canais de participação popular no processo decisório a respeito do aproveitamento energético de resíduos | (MD) Inexistência de subsídios (D) Fornecimento parcial de subsídios (F) Existência de fornecimentos significativos (MD) Inexistência dos canais de específicos (D) Existência dos canais de participação específicos, sem sua utilização pela população (F) Existência de canais específicos e sua utilização pela população |
| Dimensão política | Existência de legislação que regulamenta este setor | (MD) Inexiste legislação para este setor (D) Existe legislação que atenda parte deste setor, mas não é específica para o mesmo (F) Existe uma legislação para este setor |

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade deve contribuir para uma melhor escolha de opções que minimizem os danos ambientais e contribuam para um desenvolvimento sustentável, posto que os processos de desenvolvimento e avaliação são paralelos e complementares. O trabalho com os indicadores de sustentabilidade pode ajudar a visualizar as ligações dos diferentes aspectos do desenvolvimento dentro dos vários níveis em que eles coexistem e apreciar a complexa interação entre as suas diversas dimensões (BELLEN, 2005).

A utilização de qualquer ferramenta de gestão, assim como os indicadores, deve ser considerada como norteadoras da decisão e não como uma definição final, visto que normalmente se tem algumas limitações técnicas. A maioria dos indicadores relacionados à sustentabilidade não possui um sistema conceitual único; medem a aproximação da realidade, e não a realidade precisamente.

Neste estudo, após uma análise da literatura, definiu-se que a temática referente a avaliação da tecnologia mais adequada para a geração de energia tendo como matéria-prima o resíduo sólido urbano pode ser abordada com base nos indicadores que compõem o modelo em análise, conforme mostrado no capítulo anterior e vai ao encontro das definições apresentadas a respeito de sustentabilidade, extraídas da literatura especializada.

Os princípios específicos para Resíduos Sólidos Urbanos, selecionados por Milanez (2002), também se alinham às definições adotadas como referência. As tabelas a seguir resumem as dimensões, os indicadores, assim como a relação de cada um deles com a sustentabilidade voltada para as tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos.

4.1 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO AMBIENTAL

Quando o lixo é aterrado, produz-se uma mistura de gases composta basicamente por CO₂ e metano (CH₄) cujo metano é de 20 a 50 vezes pior do que o CO₂ em termos de aquecimento global. Esse é um dos motivos que levaram países europeus a sobretaxarem os aterros sanitários, mais poluentes em termos de aquecimento global. Portanto, estas alternativas de aproveitamento energético através de resíduos sólidos reduzem a emissão de metano nos aterros gerando um impacto ambiental positivo e evitam a emissão de dióxido de carbono oriundo da queima de combustíveis fósseis já que estes foram substituídos por resíduos sólidos na geração de energia. Na Tabela 4.1, tem-se uma comparação das referidas tecnologias em estudo em relação à dimensão ambiental e o seu respectivo indicador.

Tabela 4.1 Dimensão ambiental das tecnologias.

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|---------------------------|---|--|------------|--------------------|---------------------------|
| Dimensão ambiental | Emissão de gases evitada por cada tecnologia (t lixo/ MWh) | (MD) < 2 (D) 2-4 (F) > 4 | (F) | (MD) | (MD) |

De acordo com a Tabela 4.1, a rota tecnológica que apresenta o melhor resultado com a maior quantidade de emissão evitada de gases poluentes para a atmosfera, > 4 toneladas de lixo/MWh, apresentando menor impacto ambiental, sendo considerada como favorável (F), é a tecnologia Gás de Lixo (GDL) já que o seu uso significa uma melhoria nas condições dos lixões. Este processo visa resgatar estes gases que são continuamente lançados à atmosfera como produto de decomposição do lixo e destiná-los a outros fins, como o aproveitamento energético, que não somente a sua emissão descontrolada para a atmosfera.

A tecnologia da Digestão Anaeróbia mostrou-se muito desfavorável (MD) uma vez que a mesma apresenta peculiaridades para cada alternativa de projeto e varia muito com o reator, mas a mesma apresenta aspectos negativos como alto consumo de água, áreas grandes e risco de explosões. A Incineração também é considerada como muito desfavorável (MD), pois apresenta uma maior liberação de gases para a atmosfera, ou seja, menor quantidade de emissão evitada de gases para a atmosfera, < 2 toneladas de lixo /MWh, bem como é necessário um controle do processo muito rígido para evitar a emissão de gases altamente tóxicos. Devido a esta instabilidade do controle do processo há uma grande resistência desta tecnologia ser aceita perante a população.

É importante ressaltar que o objeto principal do trabalho são os gases e a sua conversibilidade em energia, logo o chorume (líquido oriundo da degradação dos resíduos) não entra como objeto em estudo, mas em todas as três tecnologias há sempre a preocupação do descarte adequado deste efluente.

4.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO ECONÔMICA

A avaliação da dimensão econômica e os seus respectivos indicadores podem ser observados na Tabela 4.2, onde os custos de investimento, operação e manutenção, bem como as quantidades de combustível utilizadas, diferem de acordo com a tecnologia.

Tabela 4.2 Dimensão econômica das tecnologias.

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|---------------------------|---|---|------------|--------------------|---------------------------|
| Dimensão econômica | Investimento (US\$/kW) | (MD) Custo de investimento > 1500 (D) Custo de investimento 1000-1500 (F) Custo de investimento < 1000 | (D) | (MD) | (MD) |
| | Custo de operação e manutenção (US\$/MWh) | (MD) > 10 (D) 10 (F) < 10 | (F) | (MD) | (MD) |
| | Quantidade de toneladas/dia | (MD) Produção de resíduos de 100-200 (D) Produção de resíduos de 300-400 (F) Produção de resíduos > 400 | (D) | (F) | (MD) |
| | Vida útil (anos) | (MD) 10-19 anos (D) 20-29 anos (F) 30 anos ou mais | (MD) | (F) | (F) |
| | Prazo de instalação (meses) | (MD) > 15 meses (D) 10-15 meses (F) < 10 meses | (D) | (MD) | (F) |
| | Obtenção de energia elétrica (TWh/ano) | (MD) Produção de 10-20 (TWh/ano); (D) Produção de 20-40 (TWh/ano); (F) Produção > 40 (TWh/ano). | (MD) | (F) | (D) |

Comparando as referidas tecnologias em estudo, podemos fazer uma análise das mesmas em relação ao indicador:

- **Investimento** - a tecnologia de Incineração e a Digestão Anaeróbia são consideradas como muito desfavoráveis (MD), pois segundo Tolmasquim (2003) elas apresentam valores de 1500 e 1563 US\$/kW, respectivamente. Já a tecnologia Gás de Lixo, apresenta um investimento de 1000 US\$/kW.
- **Custo de operação e manutenção** - a Digestão Anaeróbia e a Incineração apresentaram-se como muito desfavoráveis (MD), pois para seu devido funcionamento necessita-se de altos custos de operação e manutenção, elevado consumo de energia para aquecer grandes volumes e alto consumo de água. Já a tecnologia de Gás de Lixo apresenta custo de operação e manutenção menor, sendo considerada favorável (F), comparando-a com as outras tecnologias.
- **Quantidade de toneladas/dia** - segundo Tolmasquim (2003), a Incineração produz 500 toneladas/dia, a tecnologia Gás de lixo, 300 toneladas/dia e a Digestão Anaeróbia, 200 toneladas/dia. Logo, comparando as tecnologias em estudo, a Incineração é a que apresenta maior quantidade de Toneladas/dia produzida sendo considerada como favorável (F) de acordo com os indicadores de sustentabilidade.
- **Vida útil (anos)** - a tecnologia que apresentou o resultado muito desfavorável (MD) foi a de Gás de Lixo enquanto as tecnologias de Incineração e Digestão Anaeróbia apresentaram resultado favorável (F). Segundo Tolmasquim (2003), a tecnologia Gás de Lixo tem uma vida útil de 15 anos enquanto a Incineração e a Digestão Anaeróbia duram, em média, 30 anos.
- **Prazo de instalação (meses)** - a instalação de cada tecnologia obteve resultados diferenciados, pois a Digestão Anaeróbia apresentou-se favorável (F), a tecnologia Gás de Lixo, desfavorável (D) e a Incineração muito desfavorável (MD), pois segundo Tolmasquim (2003), o prazo de instalação da Digestão Anaeróbia é de 9 meses, da tecnologia Gás de Lixo 12 meses e a Incineração de 18 meses, sendo considerada muito desfavorável.

- **Obtenção de energia elétrica** – uma comparação realizada por Henriques (2004), estabelece os valores aproximados a respeito de produção de energia para os métodos Gás de Lixo (16,16 TWh/ano), Incineração (45,44 TWh/ano) e Digestão Anaeróbia (23,24 TWh/ano). Logo, foram consideradas como muito desfavorável (MD), favorável (F) e desfavorável (D), respectivamente.

De acordo com a Tabela 4.2, pode-se observar que a tecnologia de Incineração, comparando-a com as demais, apresentou o melhor resultado sendo considerada como favorável (F) em relação à dimensão econômica e os seus respectivos indicadores.

4.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO CULTURAL

A dimensão cultural aborda a existência de conhecimento da população a respeito do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, a Tabela 4.3 mostrará os seus respectivos indicadores e uma comparação entre as tecnologias em estudo.

Tabela 4.3 - Dimensão cultural das tecnologias.

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|--------------------------|--|---|------------|--------------------|---------------------------|
| Dimensão cultural | Existência de conhecimento da população a respeito deste setor | (MD) Inexistência de conhecimento (D) Existência parcial de conhecimento (F) Existência de conhecimento significativo | (MD) | (D) | (MD) |

De acordo com a Tabela 4.3 pode-se observar que a tecnologia de Incineração, comparando-a com as demais, apresentou o melhor resultado sendo considerada como desfavorável (D), pois é a única tecnologia que a população conhece parcialmente, principalmente quando se refere à poluição ambiental que a mesma pode provocar, causando sérios danos à sociedade.

4.4 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO SOCIAL

A dimensão social aborda o fornecimento de subsídios para mitigação de problemas ambientais que cada tecnologia e gera a existência de canais de participação popular no processo decisório a respeito do aproveitamento energético de resíduos. Neste sentido, a Tabela 4.4 aborda a dimensão social e os seus respectivos indicadores em estudo.

Tabela 4.4 Dimensão social das tecnologias.

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|------------------------|--|---|------------|--------------------|---------------------------|
| Dimensão social | Fornecimento de subsídios para mitigação de problemas ambientais | (MD) Inexistência de subsídios (D) Fornecimento parcial de subsídios (F) Existência de fornecimentos significativos | (D) | (D) | (D) |

Tabela 4.4 Dimensão social das tecnologias (continuação).

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|----------------------------|---|---|------------|--------------------|-------------------------------|
| Dimensão social | Participação da população, através de canais específicos, no processo decisório a respeito do aproveitamento energético de resíduos para este setor | (MD) Inexistência dos canais de específicos (D) Existência dos canais de participação específicos, sem sua utilização pela população (F) Existência de canais específicos e sua utilização pela população | (D) | (MD) | (MD) |

Comparando as referidas tecnologias em estudo, podemos fazer uma análise das mesmas em relação ao indicador:

- **Fornecimento de subsídios para mitigação de problemas ambientais** - as tecnologias em estudo apresentaram-se desfavoráveis (D) em relação ao referido indicador, pois as mesmas, geralmente, utilizam parte de subsídios para a mitigação de problemas ambientais onde não se tem subsídios específicos ocasionados pela geração de energia através de resíduos sólidos urbanos.
- **Participação da população, através de canais específicos, no processo decisório a respeito do aproveitamento energético de resíduos para este setor** – a tecnologia de Gás de Lixo apresentou o melhor resultado sendo considerada como desfavorável (D), pois comparando-a com as demais, a mesma apresenta uma maior participação da população não só no processo decisório a respeito do aproveitamento energético como também em outros setores como seu funcionamento, mão-de-obra, etc. Já a tecnologia de Incineração e Digestão Anaeróbia foram consideradas como muito desfavoráveis (MD), pois, geralmente, não existe participação da população sendo esta última a saber a respeito de instalação, funcionamento, operação e manutenção de cada

uma delas e a primeira a ser prejudicada pelos possíveis problemas, principalmente os ambientais, oriundos das mesmas.

Logo, pode-se observar que a tecnologia de Gás de Lixo apresenta o melhor resultado em relação à dimensão social e os seus indicadores, pois tem uma maior participação da população no processo decisório para sua implantação, manutenção, operação bem como o fornecimento de subsídios para problemas ambientais evitando possíveis transtornos à sociedade.

4.5 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DIMENSÃO POLÍTICA

A dimensão política aborda a existência de legislação específica para o setor energético através dos resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, a Tabela 4.5 apresenta a identificação e análise da dimensão política e seus respectivos indicadores comparando as tecnologias em estudo.

Tabela 4.5 Dimensão política das tecnologias.

| Dimensões | Indicadores | Avaliação de tendência à sustentabilidade | GDL | Incineração | Digestão Anaeróbia |
|--------------------------|---|---|------------|--------------------|---------------------------|
| Dimensão política | Existência de legislação específica que regulamenta este setor. | (MD) Inexiste legislação para este setor (D) Existe uma legislação que atenda parte deste setor, mas não é específica para o mesmo (F) Existe uma legislação específica para este setor | (D) | (F) | (D) |

As tecnologias de Gás de Lixo e a Digestão Anaeróbia são consideradas como desfavoráveis (D), pois a legislação brasileira utiliza aquela que atende parte deste setor não possuindo um instrumento legal específico para o mesmo contando apenas com iniciativas

estaduais e municipais isoladas. Já a Incineração apresenta o melhor resultado sendo considerada como favorável (F), pois apresenta legislação específica, tais como a NBR 11175/1990 que dispõe sobre Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho e a Resolução nº 316/2002 do CONAMA que regulamenta o processo da incineração e seus limites de emissão na qual permite incinerar resíduos urbanos, hospitalares, industriais e cadáveres.

Logo, diante do cenário em que o Brasil se apresenta pode-se observar que independentemente da tecnologia empregada, o impacto ambiental, social e econômico maior ainda é o destino irregular dos resíduos sólidos urbanos. No entanto, sabe-se que há uma constante evolução tecnológica para que os problemas relacionados às mesmas não sejam entraves para a sua devida aplicação.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

As pesquisas relacionadas à geração de energia através de resíduos sólidos têm se multiplicado, realizando significativos avanços nesta área, como alternativa frente aos métodos tradicionais que estão em escassez. Apesar disso, ainda são poucas as iniciativas, especialmente no Brasil, de utilização desta energia. Isso se deve ao fato, especialmente, dos elevados custos de implantação, operação e manutenção destas tecnologias. Aliado a isso, soma-se uma grande pressão por parte das empresas que detém o poder de exploração dos combustíveis fósseis, a fim de não perderem mercado.

Para que o Brasil se desenvolva de forma sustentável, é essencial o gerenciamento adequado de seus resíduos bem como a valorização de fontes alternativas e menos poluidoras de energia, destacando-se que a tecnologia escolhida para implantação deve levar em conta o desenvolvimento sustentável, nos aspectos ambientais, políticos, econômicos, culturais e sociais.

Este trabalho, através dos indicadores de sustentabilidade que direcionam aspectos fundamentais no processo de desenvolvimento que afetam a sustentabilidade, contribui com subsídios para os gestores na elaboração de políticas públicas que eliminem o problema dos resíduos sólidos urbanos no País.

Entretanto, como nenhum trabalho aborda discussões acerca da questão do desenvolvimento e meio ambiente, especificamente no tocante a questão da geração de energia tendo como matéria prima os resíduos sólidos, o presente trabalho apresenta algumas sugestões para estudos futuros os quais somados a este, subsidiará os gestores na definição da tecnologia mais apropriada para a sua implementação.

Utilizando os indicadores, pode-se concluir que a tecnologia de incineração seria a mais viável em municípios de grande porte que geram uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos com alto poder calorífico, que auxiliam neste processo, e com restrições de espaço para a utilização de tecnologias mais simples que requerem áreas grandes. Ressalta-se que a incineração necessita de alguns aprimoramentos tecnológicos para permitir que esse aproveitamento seja de forma economicamente viável e ambientalmente correta.

Como sugestão para a continuidade da pesquisa deve-se dar atenção a estudos com outras tecnologias, além de verificar a ajustabilidade de cada rota tecnológica às condições locais. Outros estudos podem incluir a análise gravimétrica detalhada de cada município, a área a ser implantada cada tecnologia, bem como o ajuste do arcabouço legal pertinente ao uso dos resíduos sólidos urbanos para fins energéticos na devida área e seus ajustes aos pleitos ambientais hoje postos pela sociedade.

Logo, espera-se que outras tecnologias sejam criadas e as que existem sejam aperfeiçoadas como alternativas para a destinação de resíduos sólidos urbanos com alto potencial energético e que, de alguma forma, contribua para a melhoria social, ambiental e econômica. A aplicação de um sistema de indicadores de sustentabilidade permite aos governos e demais instituições priorizar ações concretas para avançar em direção à sustentabilidade, apostando na capacidade dos indicadores de orientar positivamente a transformação dos municípios e fomentar a tomada de decisões em função da tendência que seus valores expressam.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, R.D. **Pirólise**. III Fórum de Estudos Contábeis 2003. Faculdades Integradas Claretianas, Rio Claro, SP, 2003.

ALMEIDA, J.R de.S . **A problemática do lixo**. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA- ABLP. **Manual de resíduos de serviços de saúde**. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. **Apresentação De Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos- NBR 8419**. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. **Apresentação De Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos- NBR 8849**. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. **NBR10004: Resíduos Sólidos – classificação**. 2004.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Chapter 2: Landfill Gas Basics**. 2006. Disponível em:

<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>. Acessado em 26 de julho de 2010.

BARROS, C.J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá- Um modelo de gestão**. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2002.

BELLEN, H.M.van. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro. FGV Editora, 2005. 256 p.

BIDONE, F. R.A; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos, EESC/USP. 1999.

BIZZO, W; GOLDSTEIN Jr., L. **Incineração de lixo urbano com geração de energia elétrica**.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2., 1995, Campinas. Anais. Campinas: Unicamp, 1995. 6 p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3ed. Brasília, 2005.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 2ª Ed. São Paulo: Humanitas Editora. 1998-1999. 348 p.

CASTILHOS JR., A. B. de. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 204 p.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Estabelece o código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva**. Resolução nº 275 de 25 de abril de 2001.

CUSSIOL, N.A.M. **Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**. In: Anais do 18º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador: ABES. 1996.

DE BAERE, L. **Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art**. In: II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Barcelona, 15-17 June.1999.

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

DE BAERE, L. **Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art**. In: II International symposium on anaerobic digestion of solid waste. Barcelona, 15-17 June, 1999.

DEMAJOROVIC, J. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v.35, n.3,p. 88-83, 1995.

DEMPSEY, C. R.; OPPELT, E. T. **Incineração de resíduos perigosos: uma revisão crítica atual**. Traduzido por Milton Norio Sogobe. São Paulo: CETESB/EET, 1987.

DONHA, M. S. **Conhecimento e participação da comunidade no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: o caso de Marechal Cândido Rondon- PR**. Florianópolis, 2002. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina.

EPA- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Turning a liability into an asset: a landfill gas-to-energy project development handbook**. 1996.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Emission Factor Documentation for AP-42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills – Revised**. North Carolina, USA. 1997.

EQUIPE PLANETA. **Cinco ameaças à vida na terra: aquecimento global, biodiversidade, água, petróleo, lixo.** Revista Planeta, São Paulo, p. 42 – 53, set. 2006.

FERREIRA, L.C.; VIOLA, E. **Incertezas de sustentabilidade na globalização.** 2ª edição, Editora Unicamp, 1996.

FERREIRA, A. B. de H.. **Dicionário Aurélio eletrônico século XXI.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 1 CD-ROM.

FIRMO, A.L.B. **Análise Comportamental de parâmetros físico-químicos e geração de gás numa célula experimental no Aterro da Muribeca-PE.** Recife-PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2006. 79 p. Monografia Conclusão de Curso.

GERALDO, V. **Aterro Sanitário. Seminário sobre o aterro sanitário.** CETESB, 1981.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 1994.

GIL, A. C. **Técnicas de pesquisa economia.** São Paulo: Atlas, 1995.

GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: Considerações sobre a proposta para São Paulo.** São Carlos: EESC/ USP, 1998. 208p.

HENRIQUES, R.M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica.** Tese- Universidade federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 189 p., 2004.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente.** 3. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBAM- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.** 2000.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico.** 2000.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico.** 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa**. Módulo 6: Lixo. Volume 2: Livro de trabalho de 1996.

IPT/ CEMPRE- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1995.

ITALIA, I. d. R. A. **Digestione Anaerobica: Utilizzo di Rifiuti Organici per La Produzione di Biogas**. 1998.

JACSON, R.M. & RAW.F. **Life in the soil**. Studies in Biology n° 2, Edward Arnold. Londres, 1966.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1ª Ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995. 278 p.

JARDIM, N. S.; WELLS, C. (Org.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT: CEMPRE, 1995.

KIEHL, E.J. **Metodologia da compostagem e ação fertilizante do composto de resíduos domiciliares**. ESALQ-USP. Piracicaba, 1979.

KÜBLER, H.; WILD, M. **The BTA- process high rate biomethanisation of biogenous solid wastes**. In: INT. SYMP. ON ANAEROBIC DIGESTION OF SOLID WASTES, 1992, Venice, 1992, p.535-538.

LACOSTE, Y. **Geografia do Subdesenvolvimento (Geografia de uma crise)**. 7 ed. São Paulo: DIFEL, 1985.

LAY, et al. **Dynamics of methanogenic activities in a landfill bioreactor treating the organic fraction of municipal solid wastes**. Wat. Sci. Tech., v.38, n.2, p.177-184, 1998-2001.

LAKASTO, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1996.

LEONE, J. **America Experience on Landfill Biogas Recovery**. CETESB, 2003.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de Lixo**. São Paulo, 2ª edição Hemus Editora, 1991.

LIMA, L.M.Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. São Paulo, 1995.

LIMA, L.M.Q. **Lixo – Tratamento e Biorremediação**. São Paulo, Hemus Editora. 2004

LIMA, L.M.Q. **Remedições de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia)**. São Paulo, Hemus Editora , 2005.

LOGAREZZI, A. **Contribuições conceituais para o gerenciamento de resíduos sólidos e ações de educação ambiental**. in LEAL, Antonio Cezar (coord.) Resíduos Sólidos no Pontal do Paranapanema. Presidente Prudente-SP : UNESP/FCT, 2003.

LUZ, F.X.R. **Aterro Sanitário, características, limitações, tecnologia para a implantação e a operação**. CETESB, SP, 1981.

MAGALHÃES, E.A. et al. **Confecção e Avaliação de um Sistema de Remoção de CO₂ contido no Biogás**. Acta Scientiarum.Technology, Maringá, v.26, n.1, 2004, p. 11-19.

MENEZES, R. A., **Projetos e Tratamento por Destruição Térmica (Incineração) de Resíduos Sólidos Urbanos e Especiais - Indicadores Operacionais**- Capítulo do Curso (apostila) Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Menezes, Ricardo A. e Menezes, Marco Antônio A. - “Considerações sobre o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GRS)”, Revista Limpeza Pública – ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública, Ed., 53, 1999.

MENEZES,R. A. A GERLACH, J.L. MENEZES, M.A. **Estágio Atual da Incineração no Brasil**. ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública 3 a 7 de Abril de 2000, Parque Barigui -Curitiba.

MILLANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. 206 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Federal de São Carlos- Ufscar, São Carlos, São Paulo.

MONTIBELLER, Gilberto. *Apropriações diferenciadas do conceito de desenvolvimento sustentável*. Geosul, v. 15, n. 29, Florianópolis, 2000.

MOTTA, M. L. A. **Coleta seletiva de lixo: experiências brasileiras**. n. 2. Rio de Janeiro. UFFCIRS. 1998. 208 p.

MUYLAERT, M.S. **Consumo de energia e aquecimento do planeta- análise do mecanismo de desenvolvimento limpo-MDL- do Protocolo de Quioto- estudos de caso**. Rio de Janeiro, Editora COPPE, 2000.

NATALI, J. R. **Ética Ambiental**. Ed.Millennium Ltda, 2001.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendrologia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NUNESMAIA, M.F.L. de. **O lixo: soluções alternativas-projeções a partir da experiência da UEFS**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 1997. 152 p.

OLIVEIRA, L.M.S. **Gestão integrada regional de resíduos sólidos urbanos: uma alternativa para os municípios de Telha e Cedro de São João, baixo São Francisco sergipano**. Dissertação de mestrado (PRODEMA)- Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2004.

OLIVEIRA, L.B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de Insumos residuais no Brasil**. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2004.

PHILLIPI Jr, A.; ROMÉRO, M. A. de; **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP. Manole, 2004.

PHILLIPSON, J. **Ecological energetcs**.Studies in Biology n° 1, Edward Arnold. Londres, 1966.

PINTO, M. S. **A coleta e disposição final do lixo no Brasil**. Rio de Janeiro. FGV. 1979.

PORTILHO, F. **Sustentabilidade ambiental, consumo e cidadania**. São Paulo. Ed. Cortez, 2005.

QUIROGA, R. **Información. Conocimiento y participación em El Desarrollo de La sustentabilidad de América Latina**, p. 115-139. México. UNEP. 2002.

RIBEIRO, A. C. M. & SANTOS, V. F. dos. **Criança no lixo nunca mais – relatório de atividades – Morro do Céu**. Niterói: Secretaria de Integração e Cidadania, julho de 2000.

RISE-AT. **Review of current status of anaerobic digestion technology for treatment of MSW**. 1998.

RODRIGUES, F. L. R.; CAVINATTO, V. M. **Lixo: de onde vem? Para onde vai**. São Paulo : Moderna, 1997. 80p.

ROSA, L.P. et al. **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Óleos Vegetais**. In: TOLMASQUIM, M.T (Coord) Fontes Alternativas de Energia no Brasil - CENERGIA. 1a Ed. Editora Interciência. 515 p. 2003.

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. 2003.

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Editora Garamond, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

SALVATO, J. A. **Environmental engineering and sanitation**. New York: John Willy e Sons, 1982.

SENEGA, M. **Termelétrica do Aterro Bandeirantes reduz emissão de CO₂ para atmosfera**. Disponível em http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25_termeletrica.htm. Acessado em 28 de julho de 2010.

SERÔA DA MOTTA, R. & CHERMONT, L. **Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 1996.

SERRA, V.; GROSSI, M.; PIMENTAL, V. **Lixão, aterro controlado, aterro sanitário**. Dept. de Química e Bioquímica. UNESP. Botucatu, SP, Brasil. 1998.

SCHARF, R. **Certificados ambientais viram negócio bilionário**. Gazeta Mercantil. São Paulo, 1998.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 2ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SISSINO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M.. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro : Fiocruz, 2000. 138p.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

TRIGUEIRO. A. **Mundo Sustentável: abrindo espaço na mídia para um planeta em transformação**. Editora Globo, 2005.

U.S.E.P.A. **Greenhouse gases emissions of management of municipal solid waste.** 144p. 1998.

VANDEVIVERE, P.; DE BAERE, L.; VERSTRAETE, W. Types of anaerobic digesters for solid wastes. In: MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes.** IWA Publishing, 2002. 336 p.

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

VEIGA, J.E. **Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI.** Editora Garamond, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2008.

VERMA, S. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes.** Department of Earth & Environmental Engineering. Columbia University, 2002.

VERSTRAETE, W,V.P. **Types of anaerobic digester for solid waste. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste.** 2002.

VIANA, E. **Resíduos alimentícios de lixo domiciliar: coleta, processamento, caracterização e avaliação da viabilidade como um ingrediente para a ração de frangos de corte.** Tese de Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999. 164 p.

WALLACE, B. **Biologia Social – a humanidade: suas necessidades, ambiente, ecologia.** Tradução de: Luiz Roberto Tommasi, Lídia Aratangy. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

WEILAND, P. **One- and two-step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues.** In. Proc. Int. Symp. On Anaerobic digestion of Solid waste. Venice. Vol. 2, 1992, p 193-199.

WILLUMSEN, H.C. **Energy recovery from land fill gas in Denmark and worldwide.** LG Consultant. 2001



Universidade Federal de Sergipe
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos
Pólo de Gestão - Av. Marechal Rondon, s/nº - CEP 49100-000
São Cristóvão - Sergipe - Brasil