

Airon Magno Aires

Zootecnista

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE PLANTAS DE COMPOSTAGEM
“IN-VESSEL” PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS E GERAÇÃO
DE BIOGÁS**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Energias Renováveis, com Ênfase em Biogás.

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

Foz do Iguaçu, PR - Brasil
2013

533.73 Aires, Airon Magno.
A298v Viabilidade econômica de plantas de compostagem "in-vessel" para tratamento de resíduos e geração de biogás. / Airon Magno Aires. -- Foz do Iguaçu, 2013.
64 f.: il.

Monografia (Especialização em energias renováveis com ênfase em biogás) --Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

Bibliografia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

1. Biogás. 2. Resíduos sólidos orgânicos. 3. Reator I. Título.

E-mail: aironzootecnista@yahoo.com.br

"No final, nossa sociedade será definida, não pelo que criamos, mas pelo que nos recusamos a destruir"

(John C. Sawhill, Presidente da The Nature Conservancy, 1990-2000)

"Por onde quer que andeis, sempre deixeis uma imagem"

(Victor Narciso de Oliveira, 1997 – Conselho de avô – Inventor, artesão e poeta brasileiro)

Aos meus exemplos de vida,
meus pais, Ivo e Rose, que sempre com sorriso e amor,
estão presentes nas minhas conquistas, me ensinando,
me ajudando e me apoiando. Por tudo que significam em
minha vida, por toda confiança na realização do meu sonho
e por não medirem esforços para minha formação pessoal.
Agradeço por vocês terem me proporcionado o convívio com
os animais e com a vida do campo, isso ajudou a incentivar a
minha verdadeira vocação profissional. Muito Obrigado !!!

DEDICO

Aos meus espelhos,
meus avós, João e Carolina (*in memorian*),
Victor e Iraídes, a ensinarem desde
pequeno o significado da vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e iluminar minha vida em todos os momentos e por me dar saúde, para que eu siga meu caminho.

À minha família, meu porto-seguro, que sempre me apoiou, independente da distância, sempre esteve presente, especialmente meus pais pelo apoio e incentivo em todas as decisões da minha vida... Obrigado.

Ao amor da minha vida, minha noiva Tatiana Champion por todo carinho companheirismo, paciência, compreensão e amor em todos os momentos. Obrigado por ser essa pessoa maravilhosa que me ensina a ser uma pessoa melhor. E um beijo especial a Julieta que tanto carinho me oferece sem pedir nada em troca, bjos pocolucha !

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior, o qual tenho como um pai em Jaboticabal, por sua paciência, ensinamentos, convívio, amizade, confiança, exemplo de profissionalismo, amor à profissão e principalmente pelo incentivo a pesquisa, muito obrigado !

Ao grupo de pesquisa que formamos no laboratório, em especial aos meus amigos engenheiros Gabriel, Julio, Douglas, Alberto, Robinho, James e Paulo Portuga. Agradeço por toda ajuda !!! Minha eterna gratidão a todos !

Aos amigos da UNILA que de alguma forma me ajudaram a realizar este trabalho. E a todos que mesmo à distância, me deram suporte e apoio em toda esta jornada, em especial a meu amigo Alexandre, Renato, Diogo, Fábio carioca, e a todos que me ajudaram de alguma forma.

A Empresa Saad Bioenergy, a Prefeitura de Vitória-ES, Sra. Amanda Viega da Coleta Seletiva ao Engº Michal Kozlowski e Sr. Bruno Fonseca, pela contribuição no desenvolvimento de todo o projeto, Muito Obrigado !!!

À Universidade Nacional da Integração Latino Americana - UNILA, campus de Foz do Iguaçu – PR e ao programa de Pós-graduação do curso de Especialização em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás pela oportunidade de realizar o prazeroso curso.

Muito obrigado!

LISTA DE ABREVIATURAS

FORSU	Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
GIRSU	Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
PEV	Pontos de Entrega Voluntária
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
GRS	Gerenciamento de Resíduos Sólidos
BA	Biodigestão Anaeróbia
URC	Unidade de Reciclagem e Compostagem
PIB	Planta Integrada de Biogás
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
RBC	Relação Benefício-Custo
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
TMAR	Taxa mínima de atratividade e retorno
EE	Energia Elétrica
ADO	Adubo Orgânico
BFT	Biofertilizante
FLC	Fluxo Líquido de Caixa
FLCA	Fluxo Líquido de Caixa Acumulado
FLCDA	Fluxo Líquido de Caixa Descontado Acumulado
FLCD	Fluxo Líquido de Caixa Descontado

VIABILIDADE ECONÔMICA DE PLANTAS DE COMPOSTAGEM “IN-VESSEL” PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS E GERAÇÃO DE BIOGÁS

RESUMO: No dia 2 de agosto de 2010, foi aprovada a LEI Nº. 12.305, criada pelo Decreto nº. 7.404/10, na qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a lei determina que até agosto de 2014, não seja permitido o funcionamento de depósitos de lixo a céu aberto (lixões), na atualidade a grande maioria da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (FORSU) são dispostas em lixões a céu aberto, por isso é fundamental obter um processo que viabilize o tratamento, a disposição final e o aproveitamento energético deste resíduo. Porém o Brasil não está preparado para o cumprimento desta PNRS, visto que os métodos de tratamento utilizados na atualidade não suportam a quantidade de resíduos que podem ser gerados em uma futura coleta seletiva de FORSU. O material adquirido nas coletas seletivas, não é aproveitado de maneira adequada, sendo disposto em lixões e aterros sanitários, os quais não são formas de tratamento e sim de disposição final. Por isso, existe a necessidade de pesquisas e desenvolvimento de projetos de plantas de compostagem “in-vessel”. Por meio de estudos de viabilidade econômica destes projetos, investidores e servidores de órgãos públicos, encontrarão indicadores de eficiência técnica, econômica e ambiental. Por isso o objetivou-se elaborar um estudo de viabilidade econômica de uma planta de tratamento de (FORSU), para o município de Vitória-ES, por meio da biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”. É economicamente viável o investimento de um sistema de tratamento de frações orgânicas de resíduos sólidos urbanos por meio de biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”. O investimento inicial é alto para iniciativa privada, por isso o governo e a prefeitura precisam se unir e trabalhar de forma integrada com empresas capacitadas, no intuito de viabilizar o investimento. As ações de gerenciamento integrado de resíduos, devem alcançar um nível próximo do ideal, nos próximos anos.

Palavras-Chave: Reator, resíduos sólidos orgânicos, biodigestão anaeróbia

ECONOMIC VIABILITY OF COMPOSTING PLANTS "IN-VESSEL" FOR WASTE TREATMENT AND BIOGAS GENERATION

ABSTRACT: On August 2, 2010, approved the Law nº. 12,305, created by Decree. 7.404/10, which establishes the National Policy on Solid Waste (PNRS), the law requires that by August 2014, the operation is not allowed on landfills open (dumps), today the vast majority of FORSU are disposed in open dumps, so it is critical to obtain a process that allows for treatment, energy recovery and final disposal of this waste. But Brazil is not prepared to accomplish this PNRS, since methods of treatment in use today do not support the amount of waste that can be generated in a future selective collection of FORSU. The material acquired in selective collections, is not used properly, being disposed in dumps and landfills, which are not forms of treatment rather than disposal. Therefore, there is need for research and development projects composting plant "in-vessel". Through economic feasibility studies of these projects, investors and public bodies servers, find indicators of technical efficiency, economic and environmental. So the objective was to conduct a study of the economic viability of a treatment plant organic fraction of municipal solid waste (FORSU), for the city of Vitória-ES, through anaerobic digestion and composting "in-vessel". It is economically viable investment for a treatment system organic fraction of municipal solid waste through anaerobic digestion and composting "in-vessel". The initial investment is high for the private sector, so the government, the municipality need to unite and work seamlessly with qualified companies in order to facilitate investment. The actions of integrated waste management, should reach a level close to that ideal, in the coming years.

Keywords: Reactor, organic solid waste, anaerobic digestion

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução	01
2. Revisão de Literatura	02
2.1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	02
2.2. Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU)	04
2.3. Classificação dos resíduos sólidos	05
2.4. Produção de resíduos sólidos no Brasil	07
2.5. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRSU)	11
2.6 Métodos empregados na recuperação energética	13
2.6.1. Incineração/Mass Burning	13
2.6.2. Gaseificação/Pirólise/Carbonização	14
2.6.3. Produção de biogás a partir da FORSU	15
2.7. Fundamentação do processo de compostagem	16
2.7.1. Compostagem de resíduos sólidos urbanos	19
2.7.2. Compostagem natural	19
2.7.2.1. Artesanal em leiras com revolvimento manual ou mecânico	19
2.7.3. Compostagem acelerada	20
2.7.3.1. Leiras estáticas com aeração forçada	20
2.7.3.2. Compostagem “in-vessel” de resíduos orgânicos	21
2.8. Evolução da destinação final de RSU	28
3. Justificativa	30
4. Objetivos	31
5. Material e Métodos	32
5.1. Método estrutural de análise econômica	34
5.1.1. - 1º Etapa: Análise de benefícios	34
5.1.2. - 2º Etapa: Análise de investimento	35
5.1.3. - 3ª Etapa: Análise econômica	35
5.1.3.1. Estimativa dos Indicadores de rentabilidade econômica	35

5.1.3.2. Fluxo de caixa descontado (FCD)	36
5.1.3.3. Taxa mínima de atratividade e retorno (TMAR)	36
5.1.3.4. Valor presente líquido (VPL)	36
5.1.3.5. Taxa interna de retorno (TIR)	36
5.1.3.6. Relação benefício-custo (RBC)	37
5.1.3.7. Cálculo do “payback” simples (PBS)	37
5.1.3.8. Cálculo do “payback” descontado (PBD)	37
6. Resultados e Discussão	38
6.1. 1º Etapa: Análise de benefícios	38
6.2. 2º Etapa: Análise de investimento	40
6.3. 3ª Etapa: Análise econômica	44
7. Conclusões	49
8. Referências	50

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, associado à industrialização e ao desenvolvimento econômico, os quais proporcionam maior facilidade de acesso ao consumo e maiores diversificações dos produtos, a maior consequência é o aumento na geração de resíduos orgânicos, surgindo à procura por novas alternativas de tratamento e disposição final sustentável da fração orgânica dos resíduos urbanos (FORSU). Neste sentido a compostagem, o método tradicional de reciclagem orgânica, torna-se evidente, surgindo a necessidade de desenvolvimento de novos processos, mais eficientes, com maior velocidade de transformar a matéria orgânica em compostos orgânicos inertes ao ambiente e adequados para aplicação agrícola, com possibilidade de obter o aproveitamento energético dos resíduos.

Segundo Kassenga (1999), há mais de 50 anos, a disposição de resíduos urbanos tem se tornado um difícil problema para o desenvolvimento dos países, pois interfere diretamente no saneamento básico. Muitas cidades e comunidades adotam métodos inadequados de disposição dos resíduos, os quais são responsáveis por problemas ambientais como a contaminação das águas superficiais e sub-superficiais, do solo e do ar. Também, como consequências das condições inadequadas de disposição dos resíduos sólidos urbanos aparecem a proliferação de vetores, que coloca em risco a saúde da população, a alteração da estética da paisagem e a geração de odores desagradáveis, que contribuem para a diminuição do valor comercial de venda da terra (SOARES e GRIMBERG, 2000).

Segundo Büttendörfer (2004), os resíduos sólidos municipais são de grande interesse, pois a quantidade produzida tem aumentado, em função do aumento populacional nas cidades, sugerindo então uma procura por novas alternativas de disposição final. As soluções convencionais tais como os aterros sanitários e os incineradores, e mesmo a compostagem simplificada, além de todos os esforços levados a efeito até o momento, não foram suficientes para a solução dos problemas referentes à destinação de resíduos sólidos. As dificuldades de implantar soluções adequadas ocorrem tanto pela falta de recursos como pela falta de conhecimento técnico (MILARÉ, 2005).

A compostagem e as diferentes tecnologias de recuperação energética são tratamentos de resíduos que possibilitam a geração de energia e a ciclagem de

nutrientes, bem como a redução da biomassa, para ser disposto diretamente no solo.

No entanto novas tecnologias estão sendo estudadas para o tratamento da FORSU, como é o caso da compostagem “in-vessel”, que ocorre em reator fechado, sem emissão de odores para atmosfera, em um tempo de retenção operacional 3 vezes menor, que a compostagem tradicional (windrow). Os gases (CH_4 , CO_2 , CO , N , H_2S , etc..) gerados no processo, são tratados e separados para utilização na produção de energia elétrica por meio do metano. Além disso, existem algumas empresas testando a utilização de dióxido de carbono tratado, em estufas de hortaliças, para acelerar o seu crescimento.

Para que essa tecnologia entrem no mercado, são necessários projetos de plantas que apresentem viabilidade econômica, tanto na geração de energia como na ciclagem dos nutrientes contidas na FORSU. Além disso, são necessárias políticas de reciclagem de resíduos, que agreguem valor ao produto gerado por meio da compostagem, ou qualquer outro método de tratamento de resíduos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os resíduos sólidos são definidos pela Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) - 10.004 (ABNT, 2004) como resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades antrópicas, de origem: doméstica, comercial, públicos (de serviços e de varrição), agrícola, industrial e hospitalar. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

Os resíduos sólidos são ainda definidos como os restos das atividades humanas, consideradas pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Segundo Veras & Povinelli (2004) os resíduos sólidos constituem hoje um dos principais problemas enfrentados pela humanidade. Com o grande desenvolvimento tecnológico e o acentuado crescimento demográfico, vem aumentando consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos descartados pelo homem, um problema que assume proporções ainda maiores, na medida em que se verifica a redução de áreas para disposição dos rejeitos e o seu alto potencial de contaminação do meio ambiente.

A noção de resíduo como elemento negativo, causador de degradação ambiental, é de origem antrópica e, em geral, aparece quando a capacidade de absorção natural pelo meio, no qual esta inserida é ultrapassada, sendo que em sistemas antrópicos, as ações de desenvolvimento ocorrem principalmente sobre os elementos produtores e consumidores, em detrimento dos decompositores. Estes últimos, ao não assegurar a assimilação dos resíduos produzidos pelos primeiros, constituem-se na parte fraca da cadeia e causam os impactos ambientais (BIDONE, 2003).

Há muito tempo, o solo, a atmosfera e os recursos hídricos são usados como forma natural de descarte de resíduos das atividades humanas. Com o aumento na

produção desses resíduos tem provocado, nos últimos anos, preocupações crescentes para todos que se envolvem com qualquer tipo de atividade produtiva ou de transformação. Já não é mais possível a simples disposição desses detritos, de maneira direta, nos cursos de água, solo ou atmosfera. O aumento na produção desses resíduos vem provocando impactos ambientais, pois sua taxa de geração é muito maior que sua taxa de degradação. Dessa forma, é cada vez mais premente, a necessidade de reduzir, reciclar, ou reaproveitar os resíduos gerados pelo homem, com o objetivo de recuperar matéria e energia, no intuito de preservar os recursos naturais e evitar a degradação do meio ambiente (STRAUS e MENEZES, 1993).

2.2 Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU)

No Brasil, cada vez mais vem se difundindo a importância da GIRSU, entretanto a sua aplicação na prática ainda é restrita e a maioria das cidades trata a questão de forma isolada. Segundo o manual de referência do IPT/CEMPRE (1995), a GIRSU se define como um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo da sua cidade.

Segundo Schall (1992), apud Milanez e Teixeira (2001, p.2), a visão moderna da gestão dos RSU consiste no abandono do paradigma da disposição de resíduos, onde os mesmos são vistos como uma massa uniforme, que deve ser coletada, compactada e enterrada ou queimada, e na adoção de uma visão de RSU que são compostos a partir de diferentes materiais que, dependendo de suas características físicas, químicas e biológicas e de seu valor econômico, devem ser gerenciados mediante diferentes processos.

De acordo com o autor, o conceito de GIRSU originou-se de uma das possíveis traduções do termo "solid waste management", que se refere a um conjunto de procedimentos para manejar o fluxo de resíduos sólidos municipais, causando o menor impacto possível sobre a saúde humana e ambiental. Como estratégias para o termo supracitado é sugerido a redução na fonte (incluindo

reuso), reciclagem de materiais (incluindo compostagem), combustão (com recuperação de energia) e disposição final. Sendo que o conceito americano considera a etapa anterior, a geração, atribuindo a incorporação dessa etapa como a principal distinção entre as formas de gerir os RSU entre as visões tradicional e moderna.

2.3 Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados de varias formas, pois são baseados em determinadas características ou propriedades. A classificação do mesmo é importante, pois ajuda a escolher o melhor modelo de GRSU a ser aplicado no local em questão. Os resíduos podem ser classificados: por sua natureza física (seco e molhado); por sua composição química (matéria orgânica e inorgânica); pelos riscos potenciais ao meio ambiente, e, quanto sua origem (ZANTA e FERREIRA, 2003).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos em:

- **Resíduos Classe I (Perigosos):** são os quais possuem uma ou mais das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogeneidade, e trazem perigo ao seres vivos e ao meio ambiente.
- **Resíduos Classe II (Não Inertes):** os que podem apresentar as seguintes características: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Exemplo: papeis, papelão, matéria vegetal e resíduos domiciliares.
- **Resíduos Classe III (Inertes):** Não tem constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas. Exemplo: rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas.

De acordo com o PNRS, Brasil (2010) os resíduos podem ser classificados quanto as características físicas e químicas como:

- **Seco:** papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e toalhas de papel, pontas de cigarros, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças.
- **Molhado:** restos de comidas cascas de bagaço de frutas e verduras ovos, legumes, alimentos estragados, etc...
- **Orgânicos:** são compostos por pó de café e chá, cabelos, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim.
- **Inorgânicos:** composto por produtos manufaturados como plásticos, vidros, borrachas, tecidos, metais (alumínio, ferro, etc.), tecidos, isopor, lâmpadas, velas, parafinas, cerâmica, porcelana, espumas, cortiças, etc.

Os resíduos podem ser classificados segundo a sua origem, como:

- **Domiciliar:** aquele originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais, revistas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis, entre outros. Alguns destes resíduos podem ser considerados tóxicos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).
- **Comercial:** aquele originado nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços. Tem grande quantidade de recicláveis e pouca de orgânicos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).
- **Público:** são os resíduos presentes em locais públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, papéis, restos de embalagens e alimentos (IBAM, 2001).

- **Serviço de saúde:** aquele originado em instalações que realizam procedimentos de saúde, como hospitais, laboratórios, clínicas e postos de saúde. São exemplos: agulhas, seringas, algodões usados, órgãos, tecidos removidos, entre outros (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).
- **Industrial:** são os resíduos gerados pelas atividades industriais. São muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. Adota-se a NBR 10.004/2004 para se classificar os resíduos industriais (IBAM, 2001).

2.4 Produção de resíduos sólidos no Brasil

De acordo com a definição da Lei Federal nº 12.305/10 (PNRS), os resíduos sólidos urbanos englobam os resíduos domiciliares, isto é, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, quais sejam, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços (BRASIL, 2010).

Os dados mais recentes apresentados pela Abrelpe (2011a), (Figura 1), revelam um aumento de 0,8 % no índice de geração per capita de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e um acréscimo de 1,8 % na quantidade total gerada. Tais índices superam o crescimento da população urbana registrado de 2010 para 2011.

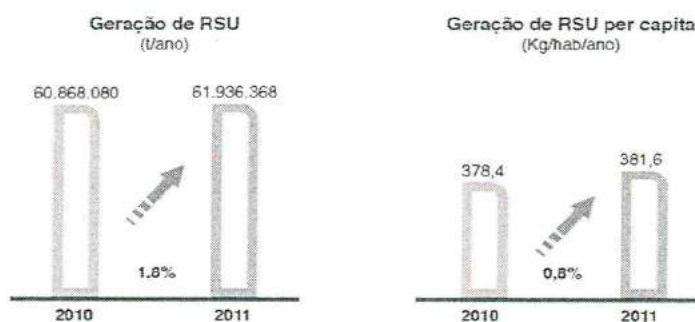


Figura 1. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fontes: Pesquisas Abrelpe (2010) e IBGE (2010 e 2011) apud Abrelpe (2011a).

Em relação à coleta (Figura 2), é possível notar um aumento de 2,5 % na quantidade de RSU coletados em 2011. Na comparação entre o índice de crescimento da geração com o índice de crescimento da coleta, percebe-se que este último foi ligeiramente maior do que o primeiro, o que demonstra uma ampliação na cobertura dos serviços de coleta de RSU no país, rumo à universalização dos mesmos.

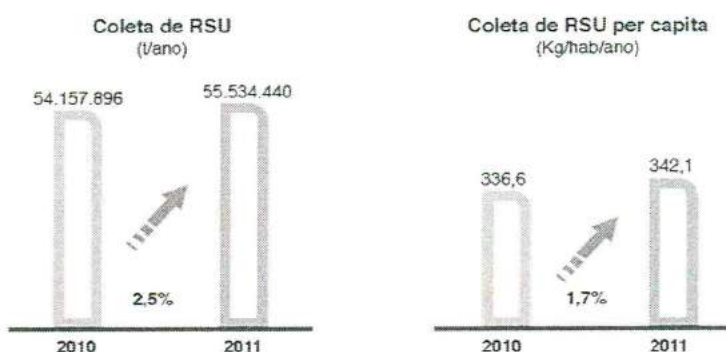


Figura 2. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fontes: Pesquisas Abrelpe (2010) e IBGE (2010 e 2011) apud Abrelpe (2011a)

A Figura 3 apresenta a composição gravimétrica média dos RSU coletados no Brasil e juntamente com a Tabela 1 permite visualizar de um modo geral a participação de diferentes materiais na fração total dos RSU segundo Abrelpe (2011b). Referida composição, porém, é bastante diversificada nas diferentes regiões, uma vez que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local.

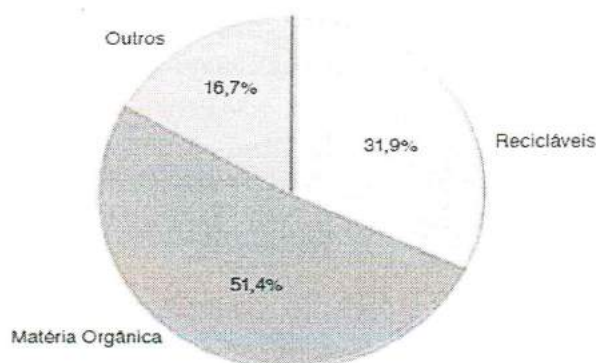


Figura 3. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais (2012) apud Abrelpe (2011b).

Tabela 1. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.610.499
Papel, Papelão e TetraPack	13,1	7.275.012
Plástico	13,5	7.497.149
Vidro	2,4	1.332.827
Matéria Orgânica	51,4	28.544.702
Outros	16,7	9.274.251
TOTAL	100,0	55.534.440

Fonte: Pesquisa Abrelpe (2011b) e Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais (Fevereiro/2012)

Em termos percentuais houve uma singela evolução na destinação final ambientalmente adequada de RSU, em comparação ao ano de 2010, dados coletados pela Abrelpe (2011a). No entanto, observa-se na Figura 4, em termos quantitativos, a destinação inadequada cresceu 1,4%, o que representa 23,3 milhões de toneladas de RSU dispostos em lixões e aterros controlados.



Figura 4. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fontes: Pesquisas Abrelpe (2010) apud Abrelpe (2011a).

A destinação final de resíduos apresenta-se como o grande desafio a ser superado, por um lado em virtude do déficit até agora apresentado no País, com aproximadamente 42% de inadequação, e por outro em função do crescimento das cidades, o que torna essa tarefa ainda mais árdua. Em relação ao destino final dos resíduos sólidos urbanos são apresentados na Figura 5, dados percentuais

relacionados a cada forma de destinação final (incineração, aterro sanitário, autoclave, lixão, vala séptica e microondas).

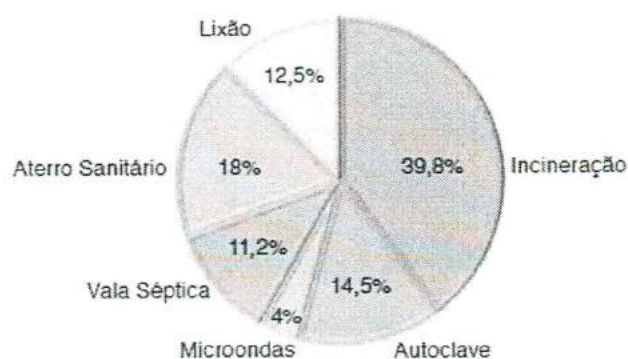


Figura 5. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fontes: Pesquisas Abrelpe 2010 apud Abrelpe (2011b).

A regularização da destinação final de resíduos é uma imposição legal que deve estar em curso até 2014, sob pena de aplicação da lei de crimes ambientais. A isso se soma a necessidade de planejar a substituição de unidades de destinação adequada que se encontrem no fim de sua vida útil (BRASIL, 2010).

Segundo Abrelpe (2011b), em 2011, dos 5.565 municípios, 3.263 (58,6%) indicaram a existência de iniciativas de coleta seletiva, conforme Figura 6, que também apresenta as quantidades destas iniciativas nas diversas regiões do país.

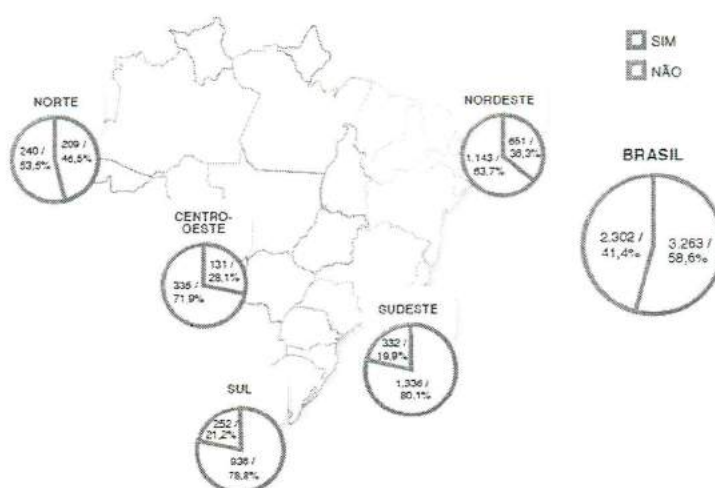


Figura 6. Participação dos materiais no total de RSU coletados no Brasil.
Fontes: Pesquisas Abrelpe (2010) apud Abrelpe (2011b).

Embora a quantidade de municípios com atividades de coleta seletiva seja expressiva, é importante considerar que muitas vezes tais atividades resumem-se na disponibilização de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) à população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços (ABRELPE, 2011b).

A questão da destinação assume em viés ainda mais crítico ao se observar que há cada vez menos áreas disponíveis nas cidades para implantação de aterros sanitários, o que acarreta uma maior distância entre os centros de geração e o destino final, com impactos econômicos e ambientais (ABRELPE, 2011a).

A reciclagem é outro ponto que precisa ser encarado com seriedade e superado em todos os termos. No entanto, a reciclagem sofre com a concorrência desleal de uma destinação de resíduos fácil e barata, ainda verificada em todas as regiões do país, e carece de instrumentos de gestão e de formalidade, valendo-se muito das cadeias informais que, apesar de positivas, por absoluta impossibilidade de gerenciamento, impedem que avanços maiores sejam alcançados. Tudo isso sem falar na ausência de instrumentos econômicos e de incentivos tributários e creditícios para alavancar as atividades nesse segmento. Para superar esses principais desafios e alguns outros menores que existem pelo caminho, faz-se necessário encarar o setor de resíduos sob algumas novas perspectivas. Com a sanção e vigência da Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o setor de resíduos passou a ser regido por um conjunto de disposições que estabelecem uma nova sistemática de gestão, em contraposição à situação anterior, que precisa ser radicalmente alterada para atender a essa nova ordem jurídica (ABRELPE, 2011a; BRASIL, 2010).

2.5 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRSU)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é muito clara em seu artigo 3º quando traz as seguintes definições (BRASIL, 2010):

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

Segundo a ABrelpe (2011b), a partir das definições de resíduos sólidos, rejeitos, destinação final e disposição final, a PNRS deixa claro que os novos sistemas a serem implantados deverão respeitar uma ordenação básica de processos até o descarte final dos rejeitos. Esta ordenação básica pode ser descrita da seguinte maneira: todos os resíduos deverão ser reaproveitados e/ou tratados e somente os rejeitos destes processos poderão ser dispostos em aterros sanitários. É importante observar os critérios que a PNRS estabelece para que a destinação final seja feita de maneira a garantir a maior reintegração dos resíduos no sistema

produtivo, sempre observadas a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira dos projetos. Tal ordenação é estabelecida no artigo 9º, assim redigido:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

2.6 Métodos empregados na recuperação energética

Segundo a Abrelpe (2011b), o termo Recuperação Energética é utilizado para denominar os métodos e processos industriais que permitem recuperar parte da energia contida nos resíduos sólidos. Os métodos mais empregados utilizam a incineração e, com o calor obtido, gera-se vapor e/ou energia elétrica que pode ser novamente aproveitada pela sociedade. A depender de onde e como são gerados, as características dos RSU variam (composição, poder calorífico, umidade, etc.), o que influencia diretamente na eficiência do sistema de recuperação energética. Basicamente a recuperação energética pode ser dividida em dois grupos: Incineração/Mass Burning (com excesso de oxigênio) e Gaseificação/Pirólise (com déficit de oxigênio).

2.6.1 Incineração/Mass Burning

O Mass Burning é a rota tecnológica mais difundida e empregada mundialmente para tratar os RSU e reaproveitar o seu conteúdo energético. Os RSU são descarregados em um fosso de armazenamento sem necessidade de qualquer pré-tratamento e através de garras são dosados no sistema de alimentação das caldeiras ou fornos para serem incinerados, com excesso de oxigênio, gerando gases quentes que trocam calor, em uma caldeira, com as paredes dos tubos produzindo vapor em alta pressão e temperatura, para uso térmico ou em conjuntos

turbinas e geradores para geração de energia elétrica. Os sistemas de queima mais empregados são o de Grelhas Móveis e de Leito Fluidizado. Antes de serem lançados na atmosfera, os gases decorrentes do processo de combustão passam por uma série de sistemas de controle ambiental para abatimento dos poluentes. As emissões exigidas para o Mass Burning são as mais restritivas entre todas as fontes de geração de energia (carvão, bagaço de cana, óleo combustível e gás natural) (ABRELPE, 2011b).

2.6.2 Gaseificação/Pirólise/Carbonização

Nestas rotas, os RSU sofrem um pré-tratamento, de forma a criar uma massa mais homogênea e seca, então são submetidos a um tratamento térmico em altas temperaturas em ambiente pobre de oxigênio. Os gases decorrentes do processo de combustão também necessitam de sistemas de controle ambiental para abatimento dos poluentes. Em termos energéticos a gaseificação possui um menor aproveitamento energético líquido. A necessidade de realizar pré-tratamento e a secagem dos RSU acarreta custos operacionais adicionais consideráveis que ainda fazem diminuir a sua competitividade (ABRELPE, 2011b).

Na gaseificação, o carbono e o hidrogênio presentes nos RSU reagem parcialmente com o oxigênio (combustão) gerando o gás de síntese (gás hidrogênio e monóxido de carbono conhecido como syngas), dióxido de carbono e cinzas. São empregados equipamentos chamados de gaseificadores que possuem diversas configurações. Os tipos comerciais mais comuns de gaseificadores são de leito fixo, leito fluidizado e plasma. O syngas pode ser queimado em geradores especiais para geração de energia elétrica ou utilizado como intermediário para reações que geram produtos químicos (ABRELPE, 2011b).

Na pirólise, o tratamento térmico é totalmente sem a presença de oxigênio, os componentes dos RSU são decompostos em hidrocarbonetos na forma gasosa e cinzas. A fração gasosa pode ser destilada para obter diferentes hidrocarbonetos ou queimados em caldeiras ou geradores para gerar energia elétrica ou ainda oxidados parcialmente para obtenção do gás de síntese como ocorre na gaseificação. Já a

carbonização é um processo mais lento, sendo considerada uma variação do processo de pirólise (MESA et al., 2003).

2.6.3 Produção de biogás a partir da FORSU

No Brasil, o gerenciamento de resíduos sólidos (GRS) se tornou um problema de saneamento básico e saúde pública (Leite et al., 2004), circunstância que exige abordagens inovadoras no GRS. A biodigestão anaeróbia (BA) conciliada a compostagem, podem desempenhar um papel integral na melhoria da gestão de resíduos e a geração de alternativas de energia renovável nas áreas rurais brasileiras.

Na BA, a decomposição dos materiais orgânicos ocorre num ambiente sem oxigênio sendo realizado por bactérias especializadas (Arqueas). Essa decomposição gera biogás, que pode ser usado para cozinhar, além de um sólido estável que pode ser utilizado na prática de compostagem. Ambos produtos são benéficos para o meio ambiente e fornecem uma alternativa de “circuito fechado” no GRS orgânicos (GAUTHIER, 2012).

A conversão da matéria orgânica em biogás tem muitas vantagens como: (i) geração de combustível gasoso que pode ser utilizado como fonte de energia; (ii) produto de biodigestão que pode ser usado como fertilizante ou condicionador do solo; (iii) diminuição nos problemas de eliminação dos resíduos; (iv) simplicidade no processo que não requer oxigênio; e (v) redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (RAO et al., 2000).

Nas áreas rurais, a BA torna se mais viável devido a que a maioria dos rejeitos gerados está composta por resíduos orgânicos. Nos lugares de baixa renda, 40-80% dos RS consistem de elementos alimentares (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

O desenvolvimento da BA pode melhorar o GRS nessas áreas através da redução de resíduos em lixões e pode trazer benefício econômico através da minimização de custos na recolha e transporte do lixo (ÖZMEN et al., 2009).

Segundo Aires (2012), resíduos sólidos orgânicos, podem ser utilizados em processos de BA por meio de pré-processamento, o qual realiza a desaglomeração das partículas diluídas em água e sofre uma separação de frações sólida e líquida, em peneiras estáticas e rotativas. A fração líquida é utilizada em BA para geração de biogás e a fração sólida pode sofrer a degradação via compostagem “in-vessel”. Este método de compostagem, acelera o tempo de degradação, otimizando o tempo em pelo menos 4 vezes, se comparado ao método tradicional (windrow). O pré-tratamento do material orgânico na BA envolve fornecer partículas de tamanho menores e uniformes para uma digestão eficiente (SWEDISH GAS CENTRE et al., 2008).

Em um estudo de geração de biogás por meio de FORSU, dejetos animal e palha de trigo, diluídos a 30% de sólidos totais, alcançaram maiores produções de biogás nos primeiros 24 dias de digestão, os biodigestores alimentados com a FORSU (HASSAN, 2004).

Gauthier (2012) alimentou biodigestores, com FORSU de creches, contendo restos vegetais, cascas de frutas e restos de alimentação diária. Nos primeiros 15 dias de ensaio, foram encontrados 40 % de CO₂ e com 60 dias 25 % de CO₂, ou seja, existe um indicador de até 75 % de metano (já que houve queima do biogás). Com esse ensaio, foi possível desenvolver um sistema de alívio de utilização energética da creche, diminuindo o volume utilizado de GLP, com utilização do biogás na cocção de alimentos. Outra vantagem encontrada foi na utilização dos efluentes dos biodigestores bateladas, que a cada 90 dias foram abertos para realização de compostagem “windrow” e posterior utilização em hortas comunitárias.

2.7 Fundamentação do processo de compostagem

Para Carvalho (2001) a compostagem é um processo de bio-oxidação exotérmica, aeróbio, de um substrato orgânico sólido e heterogêneo obtendo como produto final água, gás carbônico, com simultânea liberação de matéria orgânica que estabiliza após a maturação.

Por definição, o composto orgânico é um material bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, coloração escura, rico em matéria orgânica, isento de microrganismos patogênicos e o teor de nutrientes presentes no composto orgânico é determinado pelas matérias-primas que foram utilizadas no processo (IYENGAR e BHAVE, 2006). Tem capacidade de liberação lenta de macro e micronutrientes, excelente estruturador do solo, favorecendo rápido enraizamento das plantas e aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão (KIEHL, 1985; MELO et al., 1997).

A matéria orgânica presente no composto orgânico é responsável por algumas reações químicas que ocorrem no solo, como complexação dos elementos tóxicos e micronutrientes, influência na capacidade de troca catiônica e pH, além de fornecer nutrientes às plantas (CEZAR, 2001).

O processo de compostagem consiste em duas fases distintas: a primeira, fase termofílica, em que ocorre a máxima atividade microbiológica de degradação fazendo a temperatura permanecer elevada entre 45 e 65 °C (VITORINO e PEREIRA NETO, 1992). Tal condição causa a morte efetiva de patógenos e sementes de plantas invasoras (LEAL e MADRID de CAÑIZALES, 1998). Os microrganismos predominantes nesta fase são bactérias, em geral do gênero *Bacillus*, fungos e actinomicetos (PAUL, 1996).

Nesta fase o material apresenta a característica de fitotoxicidade, formando ácidos orgânicos, minerais e toxinas de curta duração. Se o material contiver mais nitrogênio (N) do que o necessário para que os microrganismos decomponham o resíduo, como no caso dos dejetos de galinhas poedeiras, este excesso pode ser eliminado na forma de amônia (KIEHL, 2002).

Após a fase termofílica, segue-se uma fase de abaixamento de temperatura, chegando a temperaturas próximas ao ambiente, quando se dá a bioestabilização da matéria orgânica e humificação e conseqüentemente a produção de um composto final, denominado composto orgânico (KIEHL, 1985).

No processo de compostagem, a matéria-prima é absolutamente heterogênea e tem seus componentes agrupados em moléculas de rápida degradação, como por exemplo, amido e hemicelulose, que são responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico. Já as proteínas são hidrolisadas em peptídeos, aminoácidos e outros

produtos de transformação que se incorporam ao composto durante o processo de humificação. Os fragmentos da degradação da lignina dão origem à diferentes derivados que são moléculas de degradação lenta. Ao mesmo tempo, a lignina reage com o nitrogênio para formar moléculas de lignoproteínas e nitrogênio heterocíclico, que não são encontrados nos vegetais. Estas reações são realizadas por fungos lignolíticos, bactérias e actinomicetos (CARVALHO, 2001).

Os materiais a serem compostados geralmente apresentam-se com tamanhos de partículas completamente irregulares. A sua redução favorece o aumento da atividade bioquímica durante o processo de compostagem. Quanto mais fragmentado for o material, maior será a área superficial sujeita à ataques microbiológicos. Entretanto, a redução excessiva desse tamanho pode acarretar em falta de espaço para a entrada de ar, ocupação dos espaços vazios pela água e consequente anaerobiose indesejada. Em geral, as partículas do material inicial devem estar entre 25 e 75 mm, como sugeriu KIEHL (1985).

Das características químicas dos materiais, além do carbono, o nitrogênio é o principal elemento que caracteriza a matéria prima e sua presença em certo grau é uma garantia de que os outros nutrientes importantes, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e micronutrientes, também estão presentes num grau proporcional. Por isso ao invés de se fazer uma análise dos teores de todos os elementos, determina-se o N em relação ao teor de C (relação C:N). Materiais ricos em N terão C:N baixa; materiais pobres em N terão C:N alta. Segundo KIEHL (2002), a relação ideal para os microrganismos decompositores fica entre 25/1 a 35/1.

Na prática, a aplicação dos dejetos como fertilizantes no solo, tem sido utilizada por muitos anos, pois possuem elementos químicos que podem constituir em nutrientes para o desenvolvimento das plantas, acreditando-se que o solo seja um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e depurar os resíduos nele adicionados (SEGANFREDO, 2000), mas para uso como fertilizante, o dejetos deve sofrer um processo de fermentação microbiológica, provocando a decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia ou anaeróbia. A compostagem e a biodigestão anaeróbia são exemplos respectivos de cada uma dessas formas de decomposição controlada.

2.7.1 Compostagem de resíduos sólidos urbanos

O RSU é problema de competência de saneamento ambiental, de responsabilidade do governo municipal, mas, na medida em que sofre compostagem, o composto de FORSU torna-se passível de ser produto registrado como fertilizante orgânico classe C, conforme estabelecido pela Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2009). Desta forma parte do problema torna-se produto com valor agregado.

A qualidade da separação da fração inerte do resíduo urbano é fator essencial e imprescindível para obtenção de composto com características agrônômicas desejáveis. Em um programa de coleta seletiva tradicional, é feita a triagem pela própria comunidade, separando os resíduos nos domicílios e estabelecimentos, e na unidade de reciclagem e compostagem, alguns funcionários finalizam a separação, sem maquinário especial. Sem a separação da FORSU do material inerte, torna-se difícil e compromete a qualidade do composto (ABREU-JUNIOR et al., 2009; SILVA et al., 2009). Assim devem ser incentivadas políticas públicas para coleta seletiva das FORSU e não orgânicos, prioritariamente com a separação das respectivas frações no local de origem.

Os métodos de compostagem podem, de modo geral, ser divididos em natural e acelerada (KIEHL, 1998);

2.7.2 Compostagem natural

2.7.2.1 Artesanal em leiras com revolvimento manual ou mecânico

Neste método, a compostagem consiste em formar pilhas com a matéria orgânica a ser degradada com aproximadamente 1 m de altura e 2 m de largura de base, para revolvimento manual, e 2 m de altura e 4 m de base para revolvimento mecânico. A mistura deve conter a proporção de Carbono e Nitrogênio entre 25:1 e 35:1. Em virtude das reações metabólicas dos microorganismos, em alguns dias, a temperatura se eleva para aproximadamente 70 °C. Quanto ao fornecimento de

oxigênio à massa em compostagem, o ideal deve ser o revolvimento a cada três dias, após o que a temperatura uma vez mais atingirá novamente a temperatura de 70 °C, e assim sucessivamente até o 70º dia, quando o material estará semicurado e a temperatura estará estabilizada em torno da temperatura ambiente. Como consequência, pode-se dizer que o composto estará pronto para uso entre 90 e 120 dias (CEMPRE, 2001).

A compostagem natural apresenta alguns problemas como a necessidade de grandes áreas para a formação da leira e o revolvimento. Outros impactos ambientais inerentes ao processo tais como a formação de líquidos percolados (chorume), produção de gases, geração de odores e a proliferação de vetores, são de difícil controle (KNEER, 1978).

A preocupação em reduzir a área destinada à disposição final ou tratamento é demonstrada no estudo de Kayhanian (1999) que projetou, operou e avaliou o desempenho de pilhas compactas de compostagem. O projeto, além de remover patogênicos e produzir composto de alta qualidade, traz como principal vantagem a economia de área para tratamento. As pilhas compactas necessitaram apenas da metade do espaço necessário em relação à compostagem em pilha convencional.

O problema de odores foi comentado por Srivastava (2002), em seu trabalho desenvolvido na Índia onde a compostagem de resíduos sólidos municipais é considerada uma solução técnica aceitável. Entretanto, a emissão de odores das pilhas e seu efeito junto à população, ainda são motivos de atenção.

2.7.3 Compostagem acelerada

2.7.3.1 Leiras estáticas com aeração forçada

O processo com aeração forçada foi desenvolvido nos Estados Unidos, pelo Departamento de Pesquisa Agrícola de Beltsville, Maryland, como pilhas estáticas aeradas. Desenvolvido originalmente para compostar lodo de esgoto, pode, contudo, ser usado para uma variedade de resíduos orgânicos, entre eles lixo doméstico e resíduo de poda vegetal (TCHOBANOGLOUS, 1993).

O processo de aeração de pilhas estáticas consiste em um sistema de tubos perfurados para aeração ou exaustão sobre os quais é depositada a fração orgânica a ser decomposta. Uma pilha pode ter de 2 a 2,5 m de altura e, geralmente, é coberta com uma camada de composto curado e peneirado, para reduzir os odores característicos. Cada pilha tem um soprador ou exaustor individual para melhor controlar a aeração, conforme Figura 2.3. O ar é introduzido para prover de oxigênio a transformação biológica que ocorre dentro da pilha. O tempo de compostagem é de três a quatro semanas, e depois mais quatro a cinco semanas para a cura do material. Cavacos de madeira podem ser utilizados para melhorar e controlar a granulometria e a temperatura do material a ser compostado (TCHOBANOGLOUS, 1993; KIEHL, 1998).

No processo de compostagem em leira estática existem três modos de aeração: modo positivo ou com injeção de ar, modo negativo ou com sucção de ar, modo híbrido, que é a combinação dos dois modos anteriores (NÓBREGA, 2001).

2.7.3.2 Compostagem “in-vessel” de resíduos orgânicos

A compostagem “in-vessel” tem sido uma opção atrativa para o tratamento de resíduos orgânicos em geral. A seu desempenho vai depender do tipo de material orgânico inserido no resíduo. Ao passo que, alguns tipos de compostagem, vêm se destacando, pelo rápido tratamento e diminuição considerável em relação à compostagem tradicional (KIM et al., 2008).

Este tipo de compostagem, realizada em reatores biológicos “In-vessel”, oferece a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo, portanto, o ciclo da fase termófila é reduzido, o que em certos casos conferi, à compostagem em reatores, a denominação de “compostagem acelerada”. E devido á homogeneidade do meio, inclusive com relação à temperatura, a compostagem em reatores fechados, também é tida como mais eficiente no controle dos patógenos. Outra característica desta alternativa é a maior facilidade para controlar odores, pois o sistema é fechado, utilizando ou não a aeração controlada (FERNANDES e SILVA, 2000).

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 07 a 20 dias, o que faz com que o sistema demande menor espaço para sua implantação. A fase de aeração pressurizada é geralmente de 06 dias e para digestão anaeróbia em fase termofílica ocorre em 07 dias, precedida de mais 07 dias de maturação (WALKER et al., 2009).

A aeração é feita sob pressão, em sistema fechado, o que facilita o monitoramento da taxa de aeração para adequá-la às necessidades do processo. No caso, pode ser medido o teor de oxigênio dos gases de saída do reator e quando a porcentagem de O_2 estiver próxima de 2%, aumenta-se a vazão de ar para impedir condições de anaerobiose. De modo geral os vários tipos de reatores, se enquadram em três grandes categorias (FERNANDES e SILVA, 2000):

a) Reatores de fluxo vertical;

São constituídos por sistemas parecidos com silos verticais onde os resíduos geralmente entram pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator. O dimensionamento é feito de tal forma que quando o composto chega à parte inferior do reator, a fase termófila terminou. O composto então é descarregado e transportado ao pátio de maturação (PROSAB, 1999a, 1999b).

b) Reatores de fluxo horizontal;

Apresentam geralmente forma cilíndrica e são dispostos horizontalmente. Por estas características às vezes são conhecidos como túneis (Figura 7).

Os resíduos entram por uma extremidade do reator e saem pela outra, com tempo de detenção suficiente para a realização da fase termófila. O ar é injetado sob pressão ao longo do trajeto (BC AGRICULTURAL COMPOSTING HANDBOOK, 1998).



Figura 7 – Reator “In-vessel” formato cilíndrico.

FONTE: TMA Organics (2012).

c) Reatores de batelada (Figura 8).

Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo, sendo que o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto da entrada até a saída do reator (FERNANDES e SILVA, 2000).

No terceiro caso, o reator, recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a fase termofílica chega ao seu final, o reator é aberto, descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos frescos. O composto fica confinado no mesmo local, sem se deslocar. O reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta do reator em torno de seu próprio eixo, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para limitar os caminhos preferenciais de passagem do ar, porém alguns modelos de reatores, por batelada, não são dotados deste dispositivo (FERNANDES e SILVA, 2000).

O processo de compostagem “in-vessel” é segundo Lutz (2011), precedido de abastecimento de uma célula lacrada, contendo o substrato (resíduo a ser compostado), ocorrendo à pulverização de inóculo e drenagem do mesmo, para reciclo do líquido.

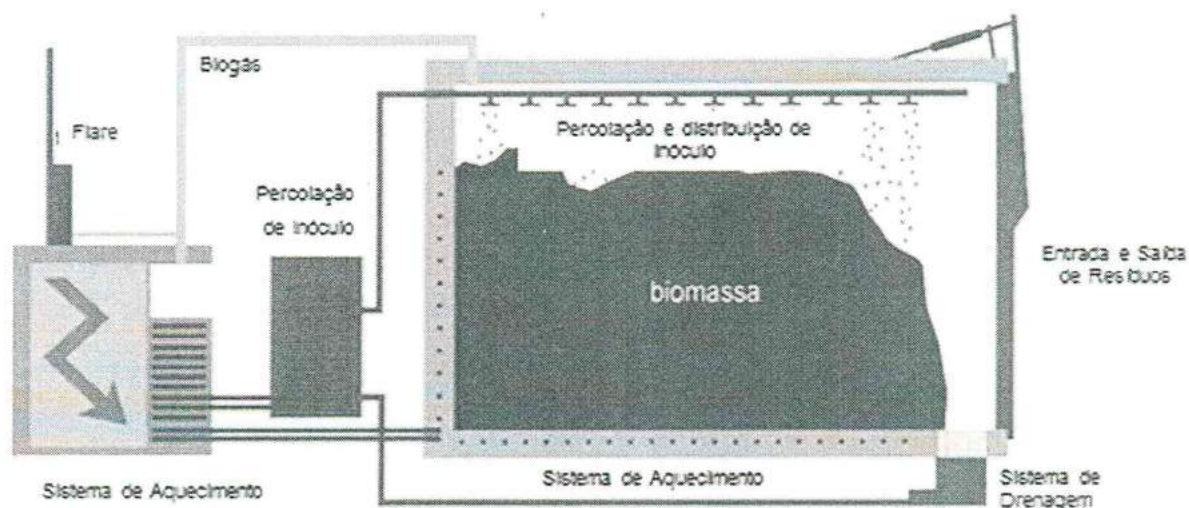


Figura 8. Processo de compostagem "in-vessel" para tratamento de resíduos orgânicos e captura de biogás utilizado na Europa. Fonte: (LUTZ, 2011).

O sistema possui controle de temperatura (média de 70°C e pH 7), sendo possível degradar a matéria orgânica em até 7 dias e maturá-lo em 30 dias.

O estabelecimento da temperatura ideal é um fator extremamente importante na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, uma vez que influi na velocidade do metabolismo bacteriano e no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI et al., 1999). O efeito da temperatura sobre o processo de digestão anaeróbia tem sido estudado por diversos autores nas faixas psicrófila, abaixo de 20 °C (Massé et al., 2003; Massé; Droste, 2000), mesófila, entre 20 e 45 °C (Broughton et al., 1998; Chen e Shyu, 1998), e termófila, entre 50 e 70 °C (Öztürk, 1993; Lepisto e Rintala, 1996). Enfim o controle da faixa de temperatura, do pH, dos ácidos voláteis e da alcalinidade do processo de compostagem "in-vessel", torna-se fundamental para o monitoramento e o controle dos parâmetros, que se estabelecerão como ideais.

Segundo Cekmecelioglu et al. (2005), dois tipos de sistemas de compostagem são amplamente aplicados: sistemas "in-vessel" e "windrow". O "in-vessel" tem vantagens sobre o windrow: ele requer menores espaços para tratamento; permite um melhor controle de processo; envolve um sistema de alta eficiência.

Em estudo realizado por Walker et al. (2009), a inclusão de passos anaeróbios na compostagem "in-vessel", aumentaram a velocidade de degradação,

diminuindo o tempo de queima do biogás para 4 horas, em função do inóculo utilizado na fase anaeróbia de 12 dias. Porém o processo aeróbio se limitou, em função da porosidade do sólido, que conduz a uma limitação na disponibilidade de oxigênio. Outra limitação ocorreu na fase de hidrólise, com acumulação de metabolitos solúveis, dentre eles a amônia. Essa hidrólise aeróbia pode ser combatida pela inundação do reator, modificando as condições do reator para anaeróbias.

Outro fator importante é a disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. Dentre eles o carbono, nitrogênio e o fósforo são minerais essenciais para todos os processos biológicos da metanogênese. A quantidade de N e P necessária para a degradação da matéria orgânica presente, depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, a partir de reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (FORESTI et al., 1999).

Embora essencial ao processo de biodegradação da matéria orgânica, o nitrogênio, pode tornar-se um fator inibitório quando em altas concentrações na forma de amônia. As concentrações do íon amônio (NH_4^+) e amônia livre (NH_3) são ditadas pelo pH, com altos valores de pH a forma NH_3 prevalece, tornando-se mais inibitória que a forma ionizada (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

Em estudo recente, Kim et al. (2008), desenvolveu a primeira planta piloto de compostagem "in-vessel" de resíduos orgânicos da cidade de Seoul/Korea (Figura 9).

Kim et al. (2008), utilizou uma compostagem "in-vessel" de fluxo horizontal, em sistema contínuo de abastecimento de substrato. O material orgânico armazenado, foi misturado a serragem com tempo de 24 horas de mistura e posterior separação em peneira "trommel" para retirada de materiais maiores que 5 cm de diâmetro. Foi utilizado um sistema magnético para retirada de materiais ferrosos. O tempo de retenção de sólidos no reator de compostagem é de 30 dias, com taxa de aeração com $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ min}$, para manutenção de oxigênio e temperatura no interior da leira. Em seguida o material é separado em peneira de 4,75 mm e posterior aeração durante a fase de maturação (60 dias).

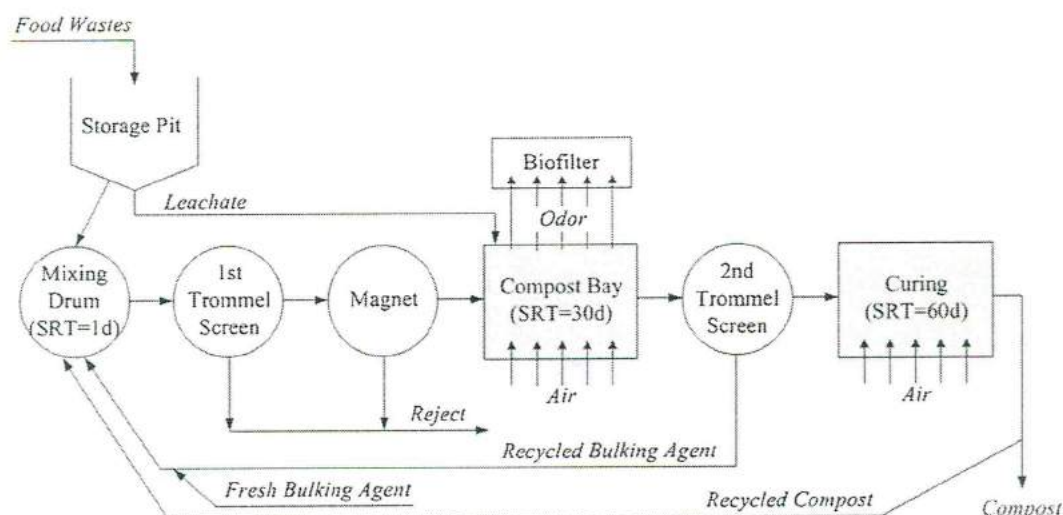


Figura 9. Diagrama esquemático da compostagem “in-vessel” em escala piloto.

Nesse estudo, conclui-se que ocorre uma vigorosa concentração de microorganismos, em função do alto consumo de O_2 detectado, além disso, o composto final, apresentou índices estáveis de sólidos voláteis, carbono orgânico e relação C:N.

No Brasil, foram introduzidos nas décadas de 60 e 70 equipamentos com sistemas de reatores fechados, que podem ser classificados como “in-vessel”, porém com tecnologia diferente das utilizadas na atualidade. Dessa forma, Silva et al., (2005), fizeram uma comparação dos sistemas Faber-Ambra, DANO original, na unidade de reciclagem e compostagem (URC) de São José dos Campos – SP, e DANO modificado, com rotação acelerada do cilindro bioestabilizador, da URC de Vila Leopoldina, São Paulo, Capital, para faixas de variação na composição e concluíram que somente o composto obtido pelo sistema DANO original, com maturação mínima de 50 dias, apresentava qualidade compatível para o uso agrícola. Todavia, quando se alterava a rotação do cilindro bioestabilizador no processo DANO, reproduzindo a permanência do resíduo para 6 horas, haveria necessidade de um tempo mínimo de compostagem em leiras superior a 110 dias.

As URC’s citadas acima, foram desativadas entre 2003 e 2006, teoricamente, conforme descrito em Silva, et al., (2009), a compostagem pelo processo DANO deveria ocorrer em duas fases (Figura 10) no bioestabilizador (fechado) e 2) no pátio de compostagem ao ar livre. Neste processo o RSU deveria ser decomposto, por via

aeróbia, a partir da ação biológica de microorganismos com o dilaceramento e homogeneização do material. A umidade, aeração e pH deveriam ser controlados para que seus valores fossem mantidos nas faixas ótimas para degradação dos resíduos.

Todo o sistema consistia em seis etapas:

- recepção do sólido urbano;
- triagem manual;
- separação eletromagnética;
- bioestabilização;
- peneiramento;
- maturação do composto.

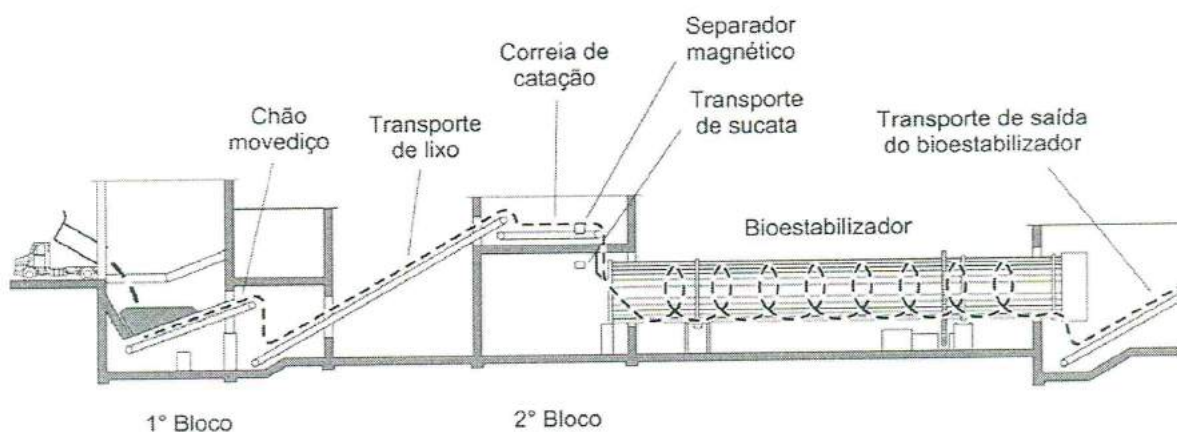


Figura 10. Sistema Dano de compostagem. Fonte: Silva et al. (2009).

A bioestabilização deveria ser o coração do processo, onde o material orgânico seria fermentado para transformar-se em composto. No entanto, Abreu-Junior et al. (2012) realizou ensaios com os compostos supracitados e avaliou o material, que apresentou apenas uma pré-digestão após os dois dias de bioestabilização em reator DANO, quando que o indicado é no mínimo de 5 dias (SILVA et al., 2005). Portanto o material que saiu do reator foi praticamente o mesmo que entrou. Não obstante, quando compostados por 150 dias após a sua saída do reator, os FORSU apresentaram teores adequados de carbono orgânico para o registro como fertilizante classe C.

2.8 Evolução da destinação final de RSU

A destinação final dos resíduos sólidos tem evoluído de forma diferenciada no Mundo. Países como os Estados Unidos, Japão e boa parte da Europa estão vários passos à frente, no que se refere à gestão dos resíduos, em comparação com os outros países menos desenvolvidos. Nos países mais desenvolvidos, o gerenciamento de resíduos sólidos já passou por três fases (ABRELPE, 2011b).

Segundo o mesmo autor, a primeira fase prevaleceu até o início da década de 1970, onde se evidenciou apenas a disposição dos resíduos. Os lixões existentes na década de 1960 na maioria dos países da Europa Ocidental foram transformados em aterros sanitários e parte dos resíduos passou ainda a ser encaminhada à incineração. Entretanto, como não havia qualquer política restritiva à geração de resíduos, ocorreu um crescimento excessivo no seu volume, proporcional à expansão do consumo, forçando, assim, o início da segunda fase. Nesta, a reutilização e reciclagem dos materiais foram consideradas metas prioritárias. A reciclagem levou a um crescimento mais lento no consumo dos recursos naturais e no volume dos resíduos a serem dispostos. A partir do final da década de 1980, foram estabelecidas novas prioridades em relação à gestão de resíduos sólidos, e apareceu a hierarquia dos três R (Reduzir, Reusar, Reciclar) que vige hoje no Brasil.

Atualmente, busca-se a redução do volume de resíduos desde o início do processo produtivo, inclusive no projeto dos bens de forma a facilitar o reuso e a reciclagem. As diretrizes prioritárias são: evitar ou, nos casos em que não for possível, diminuir a geração de resíduos; reutilizar ou, quando não for possível, reciclar resíduos; utilizar a energia contida nos resíduos; e tornar inertes os resíduos antes da disposição final (reduzir a fração orgânica dos rejeitos aterrados). Alguns países da UE, os EUA e o Japão, encontram-se nesta última fase. Já os países menos desenvolvidos, como os da América Latina, por exemplo, encontram-se em posições intermediárias entre a primeira e a segunda fase. O Brasil com a aprovação Política Nacional de Resíduos Sólidos está seguindo a tendência mundial quando nos referimos a destinação e disposição final dos resíduos (ABRELPE, 2011b).

No caso do Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada

a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Art. 9º). Também é prevista a utilização de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos, que sejam comprovadamente seguras nos âmbitos operacionais, ambientais e ocupacionais (BRASIL, 2010).

Com esta hierarquia determinada pela PNRS, verifica-se que reciclagem e recuperação energética não são tecnologias concorrentes e sim complementares. Considerando a realidade dos sistemas de coleta, é evidente que os resíduos secos, separados e coletados na fonte, são aptos para reciclagem e devem ter seu encaminhamento nesse sentido. Para os demais resíduos, coletados misturados e contaminados com as frações orgânicas, a forma mais eficiente de destinação é a recuperação energética. Além disso, também o rejeito do processo de triagem e reciclagem pode ser destinado às usinas de recuperação energética (ABRELPE, 2011a).

Segundo o mesmo autor, na União Europeia pratica-se a mesma hierarquia da PNRS há mais de 30 anos. Os países que mais reduziram eficazmente a dependência do aterro sanitário (1% e abaixo) têm as maiores taxas de reciclagem, e tem alcançado esta meta combinando reciclagem mecânica (triagem), orgânica (compostagem) e energética (Ex: Alemanha, Países Baixos, Áustria e Suécia).

3 JUSTIFICATIVA

No dia 2 de agosto de 2010, foi aprovada a LEI Nº. 12.305, criada pelo Decreto nº. 7.404/10, na qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a lei determina que até agosto de 2014, não seja permitido o funcionamento de depósitos de lixo a céu aberto (lixões), na atualidade a grande maioria das FORSU são dispostas em lixões a céu aberto, por isso é fundamental obter um processo que viabilize o tratamento, a disposição final e o aproveitamento energético deste resíduo. Porém o Brasil não está preparado para o cumprimento desta PNRS, visto que os métodos de tratamento utilizados na atualidade não suportam a quantidade de resíduos que podem ser gerados em uma futura coleta seletiva de FORSU. O material adquirido nas coletas seletivas, não é aproveitado de maneira adequada, sendo dispostos em lixões e aterros sanitários, os quais não são formas de tratamento e sim de disposição final. Por isso, existe a necessidade de pesquisas e desenvolvimento de projetos de plantas de compostagem “in-vessel”. Por meio de estudos de viabilidade econômica destes projetos, investidores e servidores de órgãos públicos, encontrarão indicadores de eficiência técnica, econômica e ambiental.

4 OBJETIVOS

Elaborar um estudo de viabilidade econômica de uma planta de tratamento de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (FORSU), para o município de Vitória-ES, por meio da biodigestão anaeróbia e posterior compostagem "in-vessel" de forma integrada.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados dados de produção de resíduos da Prefeitura Municipal de Vitória-ES, por meio de contato pessoal, 2013, pelo site da prefeitura, confrontados com dados da ABRELPE (2011 a, b).

Foi realizada uma estimativa de produção de FORSU, visto que tal valor não é quantificado e nem qualificado, quanto as suas características orgânicas ABRELPE (2011 a, b). Os valores adquiridos são de coletas não seletivas, realizadas pelos caminhões de coleta, de “porta em porta”. São portanto, resíduos úmidos, contendo material orgânico misturado ao lixo domiciliar urbano.

Com os valores de produção de FORSU, foi estimado um sistema de tratamento em paralelo (Figura 11) por meio de biodigestor de lona de PVC, tubular horizontal, “plug flow” com sistema de pré-processamento do resíduo *in natura*, segundo recomendações de Aires (2012), onde ocorre a diluição do resíduo em água e posterior separação de frações sólida e líquida. A fração líquida é utilizada na biodigestão anaeróbia e consequente produção de biogás/energia elétrica. Já a fração sólida é utilizada na compostagem “in-vessel” durante 15 dias e posterior maturação de mesmo período.

Foi levantada também a possibilidade de comercialização de energia elétrica excedente, descontando o consumo energético da “Planta Integrada de Biogás” - PIB (pré-processamento de FORSU, biodigestores, reatores de compostagem “in-vessel”, grupo gerador e periféricos).

Foi realizado um levantamento mercadológico de preços de equipamentos, materiais, serviços e mão-de-obra para instalação de uma planta de biogás com pré-processo de separação de frações sólida e líquida, lagoas de biodigestão anaeróbia, compostagem “in-vessel” de FORSU, grupo geradores e periféricos que se façam necessários para implantação de um sistema completo e automatizado.

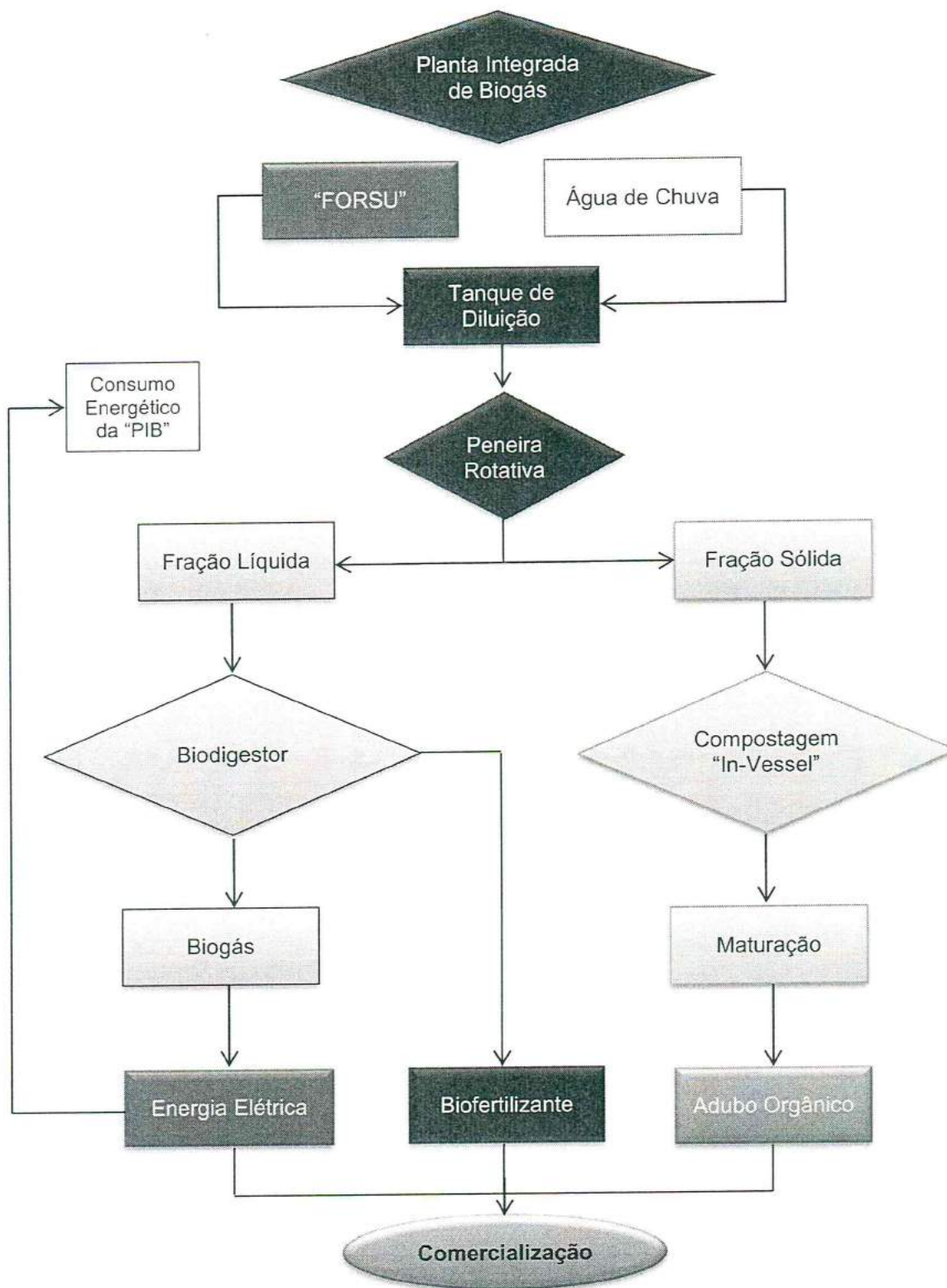


Figura 11. Fluxograma da Planta Integrada de Biogás (PIB).

5.1 Método estrutural de análise econômica

Para descrever a metodologia utilizada no trabalho, foi adaptada uma metodologia descrita por Cervi (2009), o qual divide o estudo de viabilidade econômica em três etapas para facilitar o entendimento das fases envolvidas, que são:

1ª Etapa – Análise de benefícios: Determinação dos benefícios com a geração de energia elétrica e com a produção de biofertilizante.

2ª Etapa – Análise de investimento: Determinação do investimento inicial e dos custos da PIB.

3ª Etapa – Análise de viabilidade econômica: Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi realizada a análise de viabilidade econômica através de indicadores econômicos.

5.1.1 1º Etapa: Análise de benefícios

a) A produção de biogás foi estimada a partir dos resultados do potencial de produção de adaptados de GARTHIER (2012) e BENITEZ et al. (1999).

b) Consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador foi estimado segundo as recomendações de catálogos fornecidos pelas empresas. É uma relação, fornecida pelo fabricante do motor-gerador, entre o volume de biogás consumido pelo grupo gerador e a energia elétrica gerada pelo mesmo.

d) A produção de biofertilizante foi estimada de acordo com os testes de diluição adaptados de AIRES (2012) e GARTHIER (2012).

Os benefícios com a produção de biofertilizante foram computados de acordo com a quantidade dos macronutrientes aplicados na pastagem em função dos preços médios dos nutrientes praticados no mercado.

5.1.2 2º Etapa: Análise de investimento

a) *Investimento inicial* foi classificado como o gasto necessário para a implantação das instalações e aquisição dos materiais e equipamentos. Foram considerados os investimentos iniciais do biodigestor, conjunto motor-gerador e abrigo, pré-processos de separação de frações, compostagem “in-vessel” de FORSU e outros periféricos.

b) *O custo anual do sistema* para instalação da planta de biodigestão anaeróbia é um investimento de longa duração onde o retorno sobre o capital investido ocorre somente a partir de um determinado ponto da vida útil do empreendimento. Assim, para o cálculo dos custos anuais do sistema foram considerados: custos depreciação, juros sobre o capital fixo e custos de manutenção e operação.

c) *Depreciação*

Foi utilizado o método de depreciação dos materiais de alvenaria usados na construção do biodigestor foi considerado um período de 10 anos de vida útil, conforme indicado por Nogueira e Zürn (2005). Para a determinação da depreciação da manta plástica do biodigestor e do grupo gerador foi considerado um período de 10 anos de vida útil, segundo as informações dos fabricantes.

Foi considerado um período de 10 anos de vida para as instalações elétricas conforme a resolução normativa nº. 240, de 5 de dezembro de 2006 da ANNEEL, que estabelece as taxas anuais de depreciação para os ativos, no âmbito da distribuição e da transmissão de energia elétrica (ANEEL, 2006).

5.1.3 3ª Etapa: Análise econômica

5.1.3.1 Estimativa dos Indicadores de viabilidade econômica

Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi determinado o fluxo de caixa do projeto e, por meio dos indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC) e

Período de recuperação do capital, “Payback” Simples e “Payback” Econômico, foi realizada a análise de viabilidade econômica. Também foi realizada a análise de sensibilidade do projeto com a simulação da geração média de energia elétrica. Dessa maneira foi analisado o efeito da variação de um dado de entrada, geração de energia elétrica, no resultado econômico.

5.1.3.2 Fluxo de caixa descontado (FCD)

O FCD é o investimento que contabiliza projeções de receitas e despesas operacionais e desconto dos impostos, para obtenção da receita líquida.

5.1.3.3 Taxa mínima de atratividade e retorno (TMAR)

A TMAR representa o custo de oportunidade do capital para um projeto. É a taxa de juros que deixa de ser obtida na melhor aplicação alternativa quando há emprego de capital próprio, ou é a taxa de juros a ser paga em recursos financiados.

5.1.3.4 Valor presente líquido (VPL)

Indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo. O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos desembolsos.

5.1.3.5 Taxa interna de retorno (TIR)

Valor utilizado para estudar a viabilidade de um projeto. Esta taxa deve ser comparada com o custo de oportunidade do capital em uso alternativo, dado pela taxa de atratividade, no caso 8,0% a.a.

5.1.3.6 Relação benefício-custo (RBC)

Razão entre o valor atual dos benefícios e o valor atual dos custos, através da sua relação esperada.

5.1.3.7 Cálculo do “payback” simples (PBS)

Tempo necessário para que a soma das receitas nominais líquidas futuras iguale ao valor do investimento inicial, isto é, o número de anos em que a soma do fluxo de caixa, a partir do investimento inicial, torna-se nulo.

5.1.3.8 Cálculo do “payback” descontado (PBD)

Determina o mesmo indicador do payback simples, porém leva em conta o valor do dinheiro no tempo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Vitória-ES, é uma ilha de 93 km² de área total, com uma população de 330.526 mil habitantes, dos quais geram por dia o equivalente a 342 t de resíduos sólidos urbanos, ou seja, 1,035 kg/hab/dia. Segundo Abrelpe (2011), a matéria orgânica (FORSU) coletada no Brasil gira em torno de 51,4 % de todo material coletado. A partir desse valor, pode se inferir que são gerados cerca de 175,8 t de FORSU, ou seja, 0,532 kg/hab/dia de FORSU na cidade de Vitória.

6.1 1º Etapa: Análise de benefícios

Estão apresentados na Tabela 2, os dados de consumo de energia elétrica, da PIB e dados de conversão energética da FORSU gerada pelo município de Vitória-ES, para o biogás e sua conversão para energia elétrica.

Tabela 2. Valores de consumo de energia elétrica (EE) da PIB e conversão energética da FORSU para o biogás e energia elétrica.

Cidade	Potencial de Geração Energética			Energia Consumida*	
	FORSU** (t/ano)	BIOGÁS (m ³ /ano)	EE (kw/ano)	BIOGÁS (m ³ /ano)	EE (kw/ano)
Vitória	47.344	623.047	1.059.180	186.914	317.754

Obs.: Valores de conversão considerados nos cálculos: 1m³ de biogás = 75,99 kg de FORSU ou 6253 kcal ou 1,7 kw.* Energia consumida pelo grupo gerador. ** Foi feita uma mistura de FORSU + Fonte de carbono = 527,4 t/dia (mistura).

Segundo Garthier (2012) e Benitez et al. (1999), a produção de biogás pode variar de 0,0199 a 0,01316 m³ de biogás/kg de "mistura" de FORSU e material carbonáceo, assim foi utilizado o valor mais moderado, para conversão de biogás, visto a diferença de tecnologias e materiais que podem ser empregados.

É apresentado também, o consumo de energia elétrica da PIB, e a sua conversão para biogás, apontando a substituição da energia elétrica da rede pública, pela energia limpa do biogás.

Para conversão de biogás em energia elétrica, tomou-se cuidado em utilizar recomendações medianas de grupos geradores com utilização e conversão energética conhecida na prática. Assim foi definido como fator de conversão de biogás para energia elétrica o valor de 1,7. Foram utilizados grupos geradores com potência contínua de 135 kva - 108 kw e potência em standy-by de 120 kva - 150 kw (ambos com quadro de transferência em rampa - QTM), respectivamente, os quais possuem consumo estimado de 70 m³/h de biogás.

Estão apresentados na Tabela 3, os dados disponíveis de biofertilizante e adubo orgânico gerados na biodigestão anaeróbia da FORSU e o composto orgânico gerado da pós-separação de frações de sólidos.

A FORSU não é utilizada como “adubo orgânico comercial”, desta forma não existe um valor pré-fixado de mercado, porém os valores de adubos orgânicos oriundos de compostagem podem variar de R\$ 50,00 a R\$ 800,00/t.

Os fatores que determinam os valores dos adubos e sua tamanha oscilação no mercado devem-se: à oferta e demanda; origem do material base; tipo de processo utilizado para decomposição da matéria orgânica; materiais utilizados como substratos; granulação para facilitar a aplicação no solo; formação de composto organomineral, dentre outros. Portanto, foram utilizados valores abaixo do mercado, para que se obtenha um valor conservador nas receitas provindas do adubo orgânico.

Tabela 3. Valores médios de produção de biofertilizante e adubo orgânico da PIB, para o município de Vitória-ES.

-----Biofertilizante-----			-----Adubo Orgânico-----		
BFT	VALOR*		ADO	VALOR*	
(m ³)	(R\$/m ³)	(R\$/ano)	(t)	(R\$/t)	(R\$/ano)
255.658	2,00	511.315,20	115.493	35,00	4.042.245,06

Obs.: BFT Biofertilizante; ADO: Adubo orgânico; * Valores regionais de mercado do biofertilizante e do adubo orgânico.

Os valores de biofertilizante foram calculados de acordo com ensaios experimentais de pré-processamento de Aires (2012), o qual encontrou valores de 6,7 litros de água para cada quilo de material a ser decomposto, observando que o material proposto possui um percentual entre 70 e 80 % de sólidos totais. As FORSU podem apresentar entre 30 e 50 % de sólidos totais, o que é influenciado por vários

fatores, como região que se coleta, qualidade na triagem, etc. Por isso adaptou-se o valor para 6:1 (FORSU:ÁGUA).

6.2 2º Etapa: Análise de investimento

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os valores inicial, final e residual para investimento das plantas de biodigestão anaeróbia e compostagem “In-vessel”, assim como os valores calculados de depreciação e juros.

Todos os valores foram calculados com base no mercado, levando-se em conta os preços médios cobrados em materiais e serviços.

O conjunto de biodigestão anaeróbia (projeto de escavação, materiais, mão-de-obra e principalmente lona de PVC) e o grupo gerador, possuem os valores que podem condicionar todos os custos e indicadores econômicos do projeto, visto que são responsáveis por cerca de 46,3 % do investimento inicial na instalação da planta de biodigestão anaeróbia. Para planta de compostagem “in-vessel”, o reator é responsável por 41,8% do investimento inicial. Estes valores tiveram grande variedade nos preços consultados, estes se devem ao fato da diferença de qualidade dos materiais utilizados na confecção destes dois itens, e também pela carga de inovação tecnológica existente em seus produtos. A busca por materiais cada vez mais resistentes e equipamentos simplificadores de processos, onera a aquisição destes itens.

Foram adicionadas a PIB, todos os equipamentos necessários para instalação e funcionamento básico do processo de tratamento e aproveitamento energético da FORSU, dentre eles o sistema de aproveitamento de água da chuva, dimensionado de acordo com a necessidade para utilização no pré-processamento da FORSU.

Tabela 4. Investimento inicial para instalação da planta de biogás, em Reais (R\$), 2013.

Item	Qtd.	Descrição	VI ------(R\$)-----	VF	VU (anos)	VR	Depreciação ------(R\$)-----	Juros
1	2	Conjunto para sistema de biodigestão anaeróbia com lona de PVC, em formato piramidal, volume de 4.500 m³. Lagoa de Biodigestão anaeróbia, lagoa de biofertilizante, material civil, mão-de-obra e escavação	1.890.000,00	189.000,00	10	189.000,00	170.100,00	83.160,00
2	1	Grupo Gerador à Biogás com potência contínua 135 kva - 1108 kw e potência em standby-by de 120 kva - 150 kw, com tensão de 220/127V - 60Hz, 1.800 RPM, injeção direta de combustível	275.542,00	41.331,30	15	119.401,53	15.614,05	12.674,93
3	2	Medidor de Vazão tipo turbina para uso de gás, 81,5 m³/h	15.340,00	2.301,00	12	4.474,17	1.086,58	705,64
4	3	Queimador tipo flare com combustão aberta, em aço inox, ignição automática através de placa solar e bateria, para queima de até 35 NM³/hora	83.602,62	8.360,26	10	8.360,26	7.524,24	3.678,52
5	1	Sistema d'água de geomembrana sintética produzida de polietileno de alta densidade (PEAD), 400 m³ + estrutura metálica tubular de 1.1/2" calandrada e galvanizada. Sistema de coleta de água (calhas + tubulação + caixa de Sólidos). Filtro d'água composto de caixa de polietileno	50.780,00	5.078,00	10	5.078,00	4.570,20	2.234,32
6	2	Tanque de agitação para desaglomeração de particuladas, vol. 250 m³, acionado por motorreductor com eixo em balanço e impelidor de pás retas	259.660,00	25.966,00	12	64.915,00	19.474,50	11.425,04
6	6	Peneira para separação das frações sólida e líquida adaptada para FORSU, após triagem.	229.784,00	22.978,40	12	57.446,00	17.233,80	10.110,50
1	1	Estrutura Metálica e Civil	39.820,86	3.982,09	12	9.955,22	2.986,56	1.752,12
1	1	Soprador de biogás + Tanque pulmão (p/ transporte de biogás)	18.320,00	1.832,00	10	1.832,00	1.648,80	806,08
7	1	Sistema de canalização de biogás de aço galvanizado de 3/4 + Central de Biogás	46.047,12	4.604,71	10	4.604,71	4.144,24	2.026,07
1	1	Serviço de instalação de sistema de canalização de substrato	17.020,60	0,00	12	2.836,77	1.418,38	680,82
1	1	Sistema de purificação de biogás H2S	90.424,88	0,00	12	15.070,81	7.535,41	3.617,00
8	3	Bomba de transferência de inóculo e conexões	49.120,00	4.912,00	10	4.912,00	4.420,80	2.161,28
1	1	Bomba de água e conexões	25.300,00	2.530,00	10	2.530,00	2.277,00	1.113,20
9	2	Vassoura VHR-1800T da Romanelli	65.678,32	6.567,83	10	6.567,83	5.911,05	2.889,85
Total			3.156.440,40	319.443,59	-	496.984,30	265.945,61	139.035,36

VI: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual

Tabela 5. Investimento inicial para instalação da planta compostagem "in-vessel", em Reais (R\$), 2013.

Item	Qtd.	Descrição	VI ------(R\$)-----	VF	VU (anos)	VR	Depreciação ------(R\$)-----	Juros
1	2	Rosca Transportadora Ø 9" X 8,5 m com moto-reductor. Acionamento com motor elétrico marca WEG de 4 cv. Forma construtiva e Material: chapas de aço carbono, sendo: calha espessura MSG12 com testeiros espessura 5/16", helicóide com tubo sch40 de 3" e hélices em chapas de 1/8".	219.024,00	21.902,40	15	87.609,60	13.141,44	9.637,06
2	8	Soprador de ar, distribuidores de ar, interligações.	586.252,00	58.625,20	10	58.625,20	52.762,68	25.795,09
3	3	Misturador com capacidade de 200 m ³ . Forma construtiva e Material: Aço carbono. Dois eixos com misturador helicoidal. Acionamento mecânico através de moto reductor. Tampa de alimentação superior. Tampa traseira removível para fácil manutenção; Mancais, acoplamentos e vedações reforçados alto rendimento e vida útil prolongada; Saída de produto no fundo do misturador.	690.580,00	69.058,00	15	276.232,00	41.434,80	30.385,52
4	3	Moinho de Martelos com motor de 5 cv. Rotor balanceado dinamicamente, de fácil retirada e montagem, permitindo, além de uma manutenção facilitada, uma grande economia de tempo. Martelos especiais de alta resistência a abrasão. Sistema especial de inversão no sentido da alimentação, possibilitando a utilização das duas faces dos martelos sem a necessidade de abertura da câmara de moagem. Transmissão eficiente proporcionada por acoplamento elástico, permitindo utilização total da potencia do motor.	387.500,00	38.750,00	15	155.000,00	23.250,00	17.050,00
5	1	Estrutura de sustentação de equipamentos	239.832,00	23.983,20	15	95.932,80	14.389,92	10.552,61
5	2	Moega para Alimentação do Moinho com capacidade de 25 ton/h	607.572,00	60.757,20	15	243.028,80	36.454,32	26.733,17
4	4	Flare para queima do Biogás e sistema de lavagem de gases	1.279.020,00	127.902,00	10	127.902,00	115.111,80	56.276,88
6	2	- Tanque Carregador de pulverização dos líquidos e adição dos catalisadores confeccionados em aço inox, com capacidade de 400 m ³ . Soldas internas e externas. Boca de inspeção com 300mm, no topo, entradas e saídas.	694.704,00	69.470,40	15	277.881,60	41.682,24	30.566,98
2	2	- Tanque de óleo térmico confeccionado em aço inox, Capacidade de 10 m ³ . Soldas internas e externas. Boca de inspeção com 300mm, no topo. Isolamento térmico com lã de vidro, espessura de 1", com entradas e saídas.	307.760,00	30.776,00	15	123.104,00	18.465,60	13.541,44
7	2	Trator com duas carretas	350.000,00	70.000,00	15	163.333,33	18.666,67	16.800,00
2	2	Trator / Pá carregadeira	450.000,00	90.000,00	15	210.000,00	24.000,00	21.600,00

Tabela 5. Investimento inicial para instalação da planta compostagem "in-vessel", em Reais (R\$), 2013. *Continuação...*

Item	Qtd.	Descrição	VI	VF	VU	VR	Depreciação	Juros
			----- (R\$) -----		(anos)		----- (R\$) -----	
1		Removedor de leira autônomo	260.000,00	52.000,00	20	156.000,00	10.400,00	12.480,00
1		Peneira rotativa horizontal de aço inox, com 12 x 2 m, com sistema autorolante e 2 esferas de saída com 3 medidas subdivididas ao longo do comprimento	186.350,00	37.270,00	15	86.963,33	9.938,67	8.944,80
		- Reator (células fixas de alvenaria) totalmente lacrado impossibilitando saída de gases (odores) sob pressão.						
		- Com suportes de carregamento e descarregamento. Isolação térmica nas estruturas civis, em lâ de vidro, espessura de isolamento 1".						
		- Com sistema de pulverização de inóculo.						
		- Com sistema de aquecimento interno via óleo térmico.						
		- Câmaras de coleta de amostras.						
		- Coletor de líquido (dreno), com tubulação de reciclo de catalisador.						
		- Forma construtiva e Material: em alvenaria. Dimensões: 12000 x 6000.						
8		- Sensores internos de controle de temperatura e umidade, interligados ao painel de controle.						
8		- Tanque Carregador de pulverização dos líquidos e adição dos catalisadores confeccionados em aço inox, com capacidade de 50 m³. Soldas internas e externas. Boca de inspeção com 300mm, no topo, entradas e saídas.	4.500.000,00	450.000,00	20	2.475.000,00	202.500,00	198.000,00
		- 3 (três) Bombas Centrífugas de rotor fechado, carcaça de ferro fundido, com selo mecânico, acoplado a motor elétrico marca WEG de 3 cv.						
		- Painel Elétrico - Painel de Comando Elétrico para os Equipamentos 220 V.						
		- Conjunto de Tubulações, com sistema de lavagem de todos os equipamentos.						
		- Construção de Cúpula de captação e armazenamento volumétrica de biogás (capacidade de 1.000 m³ e qualificação do biogás gerado no processo, em termos de CH4, H2S, N2, O2, CO2 e CO).						
		- Medidor de vazão de biogás.						
Total			10.758.594,00	1.200.494,40	-	4.536.612,67	622.198,13	478.363,54

VI: Valor inicial; VF: Valor final; VU: Vida útil; VR: Valor residual

Todos os equipamentos citados são passíveis de adição de periféricos opcionais, como por exemplo, automação do processo de biodigestão, do grupo gerador, do sistema de compostagem “in-vessel”, etc

É apresentado na Tabela 6, um resumo da totalização dos valores das Tabelas 4, 5, fornecendo a visualização dos investimentos iniciais em equipamentos, a depreciação anual, a remuneração do capital empatado e o valor residual do investimento.

Tabela 6. Valores totais do investimento inicial em equipamentos da PIB, em Reais (R\$), 2013.

Resumo das Tabelas 4 e 5	Valor (R\$)	
	Planta de Biogás	Compostagem “In-Vessel”
Investimento em equipamentos	3.156.440,40	10.758.594,00
Reinvestimento (com 5 e 6 anos)	376.000,00	1.500.000,00
Despesas operacionais*	348.000,00	3.630.000,00
Depreciação anual	265.945,61	622.198,13
Remuneração do capital médio empatado	139.035,36	478.363,54
Valor residual	496.984,30	4.536.612,67
Taxa de juros (%)		8,00%
Horizonte do projeto (anos)		10

* Ao longo do horizonte do projeto;

A remuneração do capital médio empatado representa uma oportunidade de investimento perdida. Assim, foram utilizados para o custo de oportunidade do capital investido na agricultura, em condições de risco, valores recentes, anunciados pelo COPOM (Comitê de Política Monetária do Banco Central), segundo Teixeira (2012) é de aproximadamente 8% ao ano.

6.3 3ª Etapa: Análise econômica

É apresentado na Tabela 7 à receita da PIB, em Reais, 2013.

Tabela 7. Receitas das PIB, em Reais (R\$), 2013.

Receitas	Planta de Biogás	Compostagem "In-Vessel"	Valor por Unidade
a) Renda Bruta (RB)		(R\$)	
Biogás	88.971,12	-	0,28 / kw
Biofertilizante	511.315,20	-	2,00 / m ³
Adubo orgânico	-	4.042.245,06	35,00 / t
Energia elétrica excedente comercializada	110.472,47	-	0,149 / kw
Total (RB) p/ Planta	710.758,79	4.042.245,06	-
Total (RB) da PIB	4.753.003,85		

O biogás entra na receita bruta em substituição da compra de EE, obtendo o cliente uma renda anual de R\$ 710.758,79 e R\$ 4.042.003,85, para as plantas de biogás e compostagem "in-vessel", respectivamente. Esses valores são considerados conservadores, visto que a administradora do projeto, prefeitura/iniciativa privada, pode ter algum tipo de isenção, sem ela o valor poderia atingir até R\$ 0,36/kw, dependendo da região. O cliente pode agregar ainda mais valor ao biofertilizante e ao adubo orgânico, fracionando a sua comercialização e agregando estratégias de merchandising relacionadas ao produto orgânico. O biofertilizante e o adubo orgânico podem ser comercializados, por R\$ 10,00/m³ de biofertilizante e R\$ 80,00/t de adubo orgânico, que dariam um acréscimo na receita, de R\$ 2.045.260,80 e R\$ 5.197.172,22/ano, respectivamente. No entanto, seriam necessário maiores investimentos em sistemas de controle de qualidade do produto e caminhões, tratores, carretas, recursos humanos especializados, equipamentos para fracionamento e embalagem do produto, etc.

Na Tabela 8 apresenta-se o fluxo líquido de caixa (FLC) e fluxo líquido de caixa acumulado (FLCA) com fluxo líquido de caixa descontado (FLCD) e fluxo líquido de caixa descontado acumulado (FLCDA) da PIB.

Tabela 8. Valores do fluxo líquido de caixa (FLC) e fluxo líquido de caixa descontado (FLCD), acumulado (FLCDA) ou não (FLCA), PIB, em Reais, 2013.

Ano	FLC	FLCA	FLCD	FLCDA
Planta Integrada de Biogás				
0	-17.847.766,44	-17.847.766,44	-17.847.766,44	-17.847.766,44
1	4.455.003,85	-13.392.762,59	4.125.003,56	-13.722.762,88
2	4.453.003,85	-8.939.758,74	3.817.733,07	-9.905.029,81
3	4.452.003,85	-4.487.754,90	3.534.144,19	-6.370.885,62
4	4.402.003,85	-85.751,05	3.235.604,24	-3.135.281,38
5	4.354.003,85	4.268.252,80	2.963.261,86	-172.019,52
6	2.704.003,85	6.972.256,65	1.703.981,10	1.531.961,58
7	4.350.003,85	11.322.260,50	2.538.185,46	4.070.147,04
8	4.350.003,85	15.672.264,34	2.350.171,73	6.420.318,77
9	4.349.003,85	20.021.268,19	2.175.584,68	8.595.903,45
10	5.877.396,84	25.898.665,03	2.722.371,94	11.318.275,39

FLC: Fluxo líquido de caixa; FLCA: Fluxo líquido de caixa acumulado; FLCD: Fluxo líquido de caixa descontado;
FLCDA: Fluxo líquido de caixa descontado acumulado.

Pelo fluxo líquido de caixa é possível observar o tempo de retorno do investimento inicial. A PIB possui um retorno do capital investido após o 4º ano. Agora se levar o conta o valor do dinheiro ao longo do tempo, esse retorno acontecerá após o 5º ano. É possível observar um desconto no 5º e 6º ano de projeto, por meio de um reinvestimento no valor de R\$ 1.876.000,00 para PIB.

Na Tabela 9, são apresentados os valores totais de investimento da PIB.

Tabela 9. Valores de investimento PIB, em R\$, 2013.

Custo da Planta Integrada de Biogás	Planta de Biogás	Compostagem "In-Vessel"
	(R\$)	
Custo engenharia de projeto*	145.368,54	507.464,10
Custo de equipamentos	3.156.440,40	10.843.144,00
Custo operacional**	518.570,00	2.676.779,40
Custo total de investimento/Planta	3.820.378,94	14.027.387,50
Custo total de investimento da PIB	17.847.766,44	

* Elaboração de básico contendo: descritivos de procedimentos operacionais, desenhos técnicos, fluxogramas de engenharias, mecânica, elétrica, hidráulica e de processo.

** Projeto executivo;

Obs.: Está inserido no custo total de investimento, um projeto piloto de compostagem "in-vessel", que será utilizado como modelo para o escalonamento industrial, que será fabricado em um skid, para que seja transportado por carreta, com intuito de educação ambiental para escolas, cidades vizinhas, etc..

Os valores de uma planta de biogás podem variar em 5% para mais ou menos, nos valores apresentados nessa estimativa, pois existe uma grande variedade de projetos e equipamentos no mercado.

Dentro do valor de investimento da PIB, foi concebida a instalação de uma planta piloto, a qual iniciará os primeiros ensaios de compostagem in-vessel. Portanto, no valor total de investimento, foi adicionado o valor de R\$ 205.390,00 para arcar com os custos de fabricação, instalação, mão-de-obra e operacionais de implantação.

Os custos de elaboração de descritivos, procedimentos operacionais, desenhos técnicos, fluxogramas de processos, projetos básicos e executivos de disciplinas mecânicas, hidráulicas e elétricas, foram adicionados conforme pesquisa realizada em uma empresa capacitada para implantação da PIB. Estes valores devem sempre ser elaborados por empresas de consultoria técnica capacitada, as quais podem desenvolver projetos personalizados, por meio de estudos de escalas pilotos.

Na Tabela 10, são apresentados os indicadores econômicos da PIB.

Tabela 10. Indicadores econômicos da PIB, em R\$, 2013.

Indicadores Econômicos*	Planta Integrada de Biogás
Payback econômico (anos)	5,10
Payback (anos)	4,02
Relação B/C	2,12
Taxa de desconto (% a.a.)	8,00
VPL (R\$)	11.318.275,39
TIR (% a.a.)	20,54

* Horizonte do projeto: 10 anos; Taxa de juros: 8% ao ano.

O “payback” da PIB, mostrou viabilidade econômica em médio prazo, indicando um investimento que requer maiores cuidados com o desenvolvimento do projeto, em virtude das nuances relacionadas a coleta do material e a sua triagem antes de iniciar o tratamento da PIB. Sugere-se que seja desenvolvido um marketing diferenciado para comercialização/bonificação do adubo orgânico e do biofertilizante: oferecendo análises laboratoriais registradas em órgãos competentes; elaboração

de uma marca com indicações da origem e qualidade da fabricação do produto; fracionamento do adubo orgânico, etc.. Em relação a bonificação, pode funcionar da seguinte forma: os moradores que desejam realizar a seleção do seu lixo, separando-os de forma que o conteúdo orgânico seja realmente separado e identificado, podem receber uma quantidade fracionada de adubo orgânico no ato da coleta. Muitas estratégias de marketing e de educação ambiental como essa, podem ser tomadas para que a população tenha o prazer de entregar o seu lixo orgânico separado do restante, pois aterro sanitário não é um tratamento adequado de disposição de resíduos, mas sim uma disposição final de rejeitos.

O índice relação B/C para o valor presente encontrado é igual a 2,12, indicando que as receitas atualizadas são maiores que os custos atualizados, portanto são viáveis.

A TIR (%) para os investimentos da PIB 20,54 % ao ano indica excelente rentabilidade do capital investido, já que supera a taxa de juros praticada de 8%, logo os projetos são viáveis.

Este projeto, não deve ser realizado por empresas que não possuam o conhecimento técnico de processos anaeróbios. Pois existem diversas particularidades que podem inviabilizar o processo em escala industrial. Por isso é necessário uma multidisciplinariedade técnica de recursos humanos com experiência na fabricação dos equipamentos, nas adaptações mecânicas, operacionais e de processo.

7 CONCLUSÕES

É economicamente viável o investimento de um sistema de tratamento de frações orgânicas de resíduos sólidos urbanos por meio de biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”. O “payback” da planta integrada de biogás, mostrou viabilidade econômica em médio prazo (4 anos) e uma taxa interna de retorno de 20,54 %, demonstrando indicadores interessantes para investimento. O investimento inicial é alto para iniciativa privada (R\$ 17.847.766,44), por isso o governo e a prefeitura precisam se unir e trabalhar de forma integrada com empresas capacitadas, no intuito de viabilizar o investimento. O valor presente líquido do projeto (R\$ 11.318.275,39) pode chegar a valores mais elevados se levar em conta horizontes de projeto com 15 ou 20 anos. As ações de gerenciamento integrado de resíduos devem alcançar um nível próximo do ideal, nos próximos anos. A filosofia de se coletar a maior quantidade possível de lixo urbano, com o mínimo de mão-de-obra, está se exaurindo com os novos tempos de coleta seletiva porta a porta. Com a sanção e vigência de Lei Federal 12.305/2012, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), o setor de FORSU passará a ser regido por um conjunto de disposições que estabelecem uma nova sistemática de gestão, em contraposição à sua situação anterior, que precisa ser radicalmente alterada para atender a essa nova ordem jurídica.

8 REFERÊNCIAS

- ABREU-JUNIOR, C.H.; BASSO, A.C.; CHITOLINA, J.C.; SILVA, F.C. Caracterização de compostos de resíduos sólidos urbanos orgânicos de unidades de reciclagem e compostagem dos municípios de São Paulo e São José dos Campos.. **Holos Environmetal**: Rio Claro, v.12, n.2, p.225-240, 2012.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **Resíduos Sólidos: Classificação**. NBR - 10.004/2004. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2011a.
- ABRELPE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS). **Recuperação Energética**. Caderno Informativo. São Paulo, 2011b.
- AIRES, A. M. **Desenvolvimento de um sistema de pré-processamento de cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”**. 2012, 160 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- BC Agricultural Composting Handbook. 1998. 2º ed. Abbotsford, BC: **Resource Management Branch**. Disponível em: <http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt>. Acesso em: 02 nov. 2011.
- BENITES, V. DE M. **Produção de insumos agrícolas a partir de resíduos agroindustriais**. Fertbio, 2006. Bonito/MS
- BENITEZ, F., BELTRAN-HEREDIA, J., REAL, F., ACERO, J. AND GONZALEZ, T. Aerobic and anaerobic purification of wine distillery wastewater in batch reactors. **Chem. Engin. Technol** 22, 165–172, 1999.
- BIDONE, F. R. A., REIS, M., SELBACH, P. **Compostagem – Aspectos teóricos e operacionais**, Apostila do curso realizado pela ABES/RS – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre: ABES, Julho 2003.
- BRASIL. **Lei nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, nº 147, p. 3, 03 de ago. 2010
- BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. **Water Research**, v. 32, n. 5, p. 1423-1428, 1998.

BÜTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Anegelina – SC.** Florianópolis - SC, março/2004, 140 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental), Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

CARVALHO, P. C. T. Compostagem. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na Agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-208.

CEZAR, V. R. S. **Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo.** 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CERVI, R. G. **avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia: estudo de caso em unidade biointegrada.** 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CEMPRE - Compromisso Empresarial Para Reciclagem, **Compostagem: A outra metade da reciclagem,** São Paulo, 2ª Edição, 2001.

CEKMECELIOGLU, D.; DEMIRCI, A.; GRAVES, R.E.; DAVITT, N.H. Applicability of optimized *in-vessel* food waste composting for window system, **Biosyst. Eng.** 91, 479–486, 2005.

CHEN, T. H.; SHYU, W. H. Chemical characterization of anaerobic digestion treatment of poultry mortalities. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 37-48, 1998.

D'ALMEIDA, M. Luiza; VILHENA, André. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p.

FERNANDES, F. ; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para reciclagem de biossólidos.** 1. ed. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. v. 2000. 84 p.

GAUTHIER, C. Conversão anaeróbica de resíduos orgânicos domésticos à biogás: Viabilidade e aplicação em uma comunidade Bahiana. **Conexão Academia: A revista científica sobre Resíduos Sólidos**, ano 1, v.2, Julho, 2012.

HASSAN, MEDYAN ADEL MUSTAFFA. **“The Feasibility of Family Biogas Production from Mixed Organic Wastes in Palestinian Rural Areas “** An-Najah National University, 2004.

TMA ORGANICS (Texas Microbial Applications Organics). **Reactor “in-vessel”**, Disponível em: <http://www.tmaorganics.com>. Acesso em: 02 dez 2012.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52.

IBAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL). **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. IBAM, 2001.

IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado. 1 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE; 1995.

IYENGAR, S.R.; BHAVE, P.P. *In-vessel* composting of household wastes, **Waste Manage.** 26, 1070–1080, 2006.

KAYHANIAN, M. Design, operation and performance of compressed windrow composting, **The journal of solid waste technology and management**, v.26, n.1, 1999.

KNEER, F. X. **Procedimentos gerais para o processo KNEER**. Apostila do autor. Blauberen, Alemanha: Agosto, 1978.

KIEHL, E.J. Manual de compostagem maturação e qualidade do composto. São Paulo: Agronômica Ceres, 2002. 171p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica “Ceres” Ltda., 1985. 492 p.

LEAL, N.; MADRID de CAÑIZALES, C.M. Compostaje de residuos orgânicos mezclados com roca fosforica. **Agronomía Tropical**, v. 48, n. 3, p. 335-357, 1998.

LEPISTÖ, R.; RINTALA, J. Conversion of volatile fatty acids in an extreme thermophilic (76-80°C) upflow anaerobic sludge-blanket reactor. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 221-227, 1996.

LEITE, VALDERI DUARTE, WILTON SILVA LOPES, JOSÉ TAVARES DE SOUSA, AND SHIVA PRASAD. “**Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos.**” Engenharia Sanitária e Ambiental v.9, no. 4: 280-284, 2004.

LUTZ, P. **New Bekon biogas technology for dry fermentation in batch process**. Disponível em: <http://www.bekon.eu/134.html>. Acesso em: 12/04/2011.

- MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 3-16, 2000.
- MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch. **Water Resource**, v. 34, n. 12, p. 3087-3106, 2000.
- MASSÉ, D. L., MASSE, L, CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, v. 89, Issue 1, p. 57-62, August 2003.
- MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Efeitos de composto de lodo de cervejaria em propriedades químicas e físicas do solo e em plantas de painço em casa-de-vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. (CD-Rom).
- MESA, J.M.; ROCHA, J.D.; OLIVARES, E.; BARBOZA, L.A.; BROSSARD, L.E. Pirólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. **Revista Analytica**, nº 4, p.32-36, 2003.
- MILANEZ, B.; TEIXEIRA, B.A.N. Contextualização de princípios de sustentabilidade para gestão de resíduos sólidos urbanos. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2001 set 16-21; João Pessoa (PB), ABES; 2001, p.1-11.
- NÓBREGA, C. C. **Estudo e avaliação de um método de aeração forçada para compostagem em leiras**, Campina Grande, 01/03/1991, 115f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.
- NOGUEIRA, C. E. C.; ZURN, H. H. Modelo de dimensionamento otimizado para sistemas energéticos renováveis em ambientes rurais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 341-348, maio/ago. 2005.
- ÖZMEN, PEYRUZE, AND SOLMAZ ASLANZADEH. **“Biogas Production from Municipal Waste Mixed with Different Portions of Orange Peel.”** Master Thesis, University of Borås, 2009.
- ÖZTÜRK, M. Degradation of acetate, propionate and butyrate under shock temperature. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 2, 1993.
- PAUL, E.A., CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**, San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.
- PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 65p. (1999).

RAO, M.S., S.P. SINGH, A.K. SINGH, AND M.S. SODHA. “**Bioenergy Conversion Studies of the Organic Fraction of Msw: Assessment of Ultimate Bioenergy Production Potential of Municipal Garbage.**” *Applied Energy* 66: 75-87 (2000).

SEGANFREDO, M. A. **O impacto ambiental na utilização de cama de aves como fertilizante do solo**. 2000. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>> Acesso em: 06 jan. 2009.

SRIVASTAVA, A, KUMAR, R., SINGH, R.N. Odour impact evaluation of municipal waste composting unit, **The journal of solid waste technology and management**. v.28, n.1, 2002.

SILVA, F.C. DA; CHITOLINA, J.C.; BALLESTERO, S.D.; VOIGTEL, S.D.S.; MELO, J.R.B. Processos de compostos de lixo e a sua qualidade como fertilizantes orgânico. **Holos Environmetal**: Rio Calro, v.5, n.2, p.121-136, 2005.

SILVA, F.C.; RODRIGUES, M.S.; BARREIRA, L.P.; PIRES, A.M.M. Gestão Pública de Resíduo sólido urbano: Compostagem e Interface Agrícola. Capítulo 7. Botucatu: FEPAF. p.123,140, 2009.

STRAUS, E. L.; MENEZES L. V. T. Minimização de Resíduos. In: **Anais do 17 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 212 - 225, 1993

SWEDISH GAS CENTRE, SWEDISH GAS ASSOCIATION, AND SWEDISH BIOGAS ASSOCIATION. **Biogas from Manure and Waste Products - Swedish Case Studies**. Stockholm, Sweden: Swedish Gas Centre, Swedish Gas Association, Swedish Biogas Association,, 2008.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and manages issues**. United States of America, New York: McGraw-Hill, 1993.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.

KIM, J.-D.; PARK, J.-S.; IN, B.-H; KIM D.; NAMKOONG, W. Evaluation of pilot-scale *in-vessel* composting for food waste treatment. **Journal of Hazaedous Materials**, 154 (12) 272-277, 2008.

VERAS, L.R.V & POVINELLI, J. **A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano.** Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.9 jul/set 2004 7p.

VITORINO, K. M. N.; PEREIRA NETO, J. T. **Estudo da compostabilidade dos resíduos da agroindústria sucroalcooleira.** In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1992, Viçosa. Anais... Viçosa:UFV, 1992. p.121-132.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. (2003). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte.** PROSAB, Rede Cooperativa de Pesquisas. Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades. Capítulo 1. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. Florianópolis, S.C. Brasil.

WALKER, L.; CHARLES, W.; CORD-RUWISCH, R. Comparison of static, *in-vessel* composting of MSW with thermophilic anaerobic digestion and combinations of the two processes. **Bioresource Technology** 100(16): 3799-3807, 2009.