

## EVTEA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DIGESTÃO ANAERÓBICA POR FERMENTAÇÃO SECA COM COGERAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS NA CIDADE DE SALVADOR-BA

João Fontenelle Brasileiro<sup>1</sup>, Arilma Oliveira do Carmo Tavares<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SENAI CIMATEC, E-mail: joaofbrasileiro@gmail.com;

<sup>2</sup>SENAI CIMATEC, E-mail: arilma@fieb.org.br.

## TEEFS FOR THE IMPLEMENTATION OF AN ANAEROBIC DIGESTION SYSTEM BY DRY FERMENTATION WITH COGENERATION FOR THE TREATMENT OF ORGANIC SOLID WASTE IN SALVADOR-BA

**Resumo:** De acordo com o Plano Básico de Limpeza Urbana de Salvador mais recente, cerca de 1.450.000 toneladas/ano de resíduos sólidos urbanos foram gerados no município. Destes, apenas aproximadamente 12% são considerados rejeitos, 42% são enquadrados como resíduos orgânicos e 46% são recicláveis. Sabe-se que a maior parte destes resíduos ainda é destinada para o aterro sanitário que é a última opção de destino de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dessa forma, o presente estudo busca avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de digestão anaeróbica através da fermentação seca para tratar parte da fração orgânica de resíduos sólidos gerados no município de Salvador. Para tanto, foi realizado levantamento de informações com fornecedores dessa tecnologia, e obtida proposta comercial para a instalação deste sistema. Os resultados apresentaram TIR de 36%, VPL de R\$ 6.800.00 e tempo de retorno de cerca de 3 anos, apontando uma boa atratividade para o negócio e levantando questionamentos sobre a falta de incentivos, políticas e pesquisas para o setor.

**Palavras-Chaves:** Co-geração; Digestão Anaeróbica; Fermentação Seca; Composto Orgânico; Biogás.

**Abstract:** According to the most recent Basic Plan of Urban Clean from Salvador, about 1,450,000 tons/year of municipal solid waste was generated in the city. Of these, only around 12% are considered reject, 42% are considered organic waste and 46% are recyclable. It is known that most of these residues are disposed on sanitary landfill that is supposed to be the final destination option according to national regulations. Thus, this study aims to evaluate the technical, economic and environmental feasibility for the implementation of an anaerobic digestion system through dry fermentation process to treat part of the organic fraction of solid waste generated in the city of Salvador. Therefore, information was obtained from companies that supply this technology and it was received a commercial proposal for the installation of this system. The results has shown 36% of IRR, R\$6.800.00 of NPV and less than 3 years of pay-back, revealing a good financial attraction for the business and raising questions about the lack of incentives, policies and research for the sector.

**Keywords:** Co-generation; Anaerobic Digestion; Dry Fermentation; Compost; Biogas.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento na geração de resíduos sólidos nos centros urbanos é um problema grave que a sociedade tem enfrentado nas últimas décadas. A destinação inadequada destes resíduos pode acarretar na poluição de solos, rios, águas subterrâneas e até mesmo na poluição do ar, por conta da geração de gases de efeito estufa e gases tóxicos no caso da queima clandestina de determinados tipos de resíduos.

De acordo com o Plano Básico de Limpeza Urbana (PBLU) de Salvador mais recente (SESP/LIMPURB, 2012), cerca de 1.450.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), foram gerados em Salvador no ano de 2011. Destes, apenas 12% foram considerados rejeitos, ou seja, passíveis de disposição em aterro sanitário, o restante foi enquadrado como resíduo orgânico (42%), e como reciclável (46%).

Diante do grande volume dos resíduos sólidos gerados em Salvador, é necessário a realização de estudos que possam avaliar a viabilidade de implementação de empreendimentos que visam o melhor aproveitamento dos resíduos gerados pelo município. No tocante à reciclagem, já existem cooperativas e iniciativas, porém, para o tratamento do resíduo orgânico, ainda existe um grande desafio a ser superado.

O primeiro passo para o melhor reaproveitamento dos resíduos sólidos deve ser feito através da educação de base e de campanhas que estimulam a segregação destes resíduos na sua origem. Depois de segregados, os resíduos podem então ser reciclados, tratados ou compostados ao invés de serem dispostos em aterro.

Com o intuito de se avaliar a viabilidade de empreendimentos que visam um melhor aproveitamento do resíduo sólido, este trabalho busca propor nova alternativa para a utilização da fração orgânica dos RSU gerados na cidade de Salvador.

A avaliação técnica da alternativa tecnológica foi realizada através do contato com fornecedores que possuem *know-how* no fornecimento de digestores anaeróbicos por fermentação seca, a avaliação financeira teve como base proposta enviada por um destes fornecedores, e a avaliação ambiental foi realizada através do estudo comparativo entre o aterro sanitário e a tecnologia proposta neste artigo para o tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos.

### 1.1. Objetivo Geral

O presente artigo tem como objetivo geral avaliar através de EVTEA a implantação de uma nova tecnologia para o tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos, contemplando o seu aproveitamento energético e agrícola com o intuito de contribuir para o gerenciamento dos RSU do município.

### 1.2. Objetivos Específicos

- Estudar o mercado com potencial para a compra dos produtos oriundos do processo proposto (energia elétrica e composto orgânico).
- Levantamento dos custos da implantação e operação da tecnologia de fermentação;

- Levantamento das receitas a serem obtidas através da compensação da energia elétrica gerada, da comercialização do composto orgânico produzido e da venda de serviço para tratamento do RSU;
- Levantamento do impacto ambiental com a implantação da tecnologia estudada;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados temas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dados do Plano Básico de Limpeza Urbana, o processo de digestão anaeróbica, cogeração de energia, compensação de energia e composto orgânico.

Devido à necessidade de um gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos e com o intuito de se evitar a poluição causada por estes resíduos, foi instituída em 02 de Agosto de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos através da Lei Nº 12.305.

Dentre os principais objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, pode-se destacar: a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais, a articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos, dentre outros. Além disto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos propõe que na gestão dos resíduos, 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). A seguir são abordadas informações obtidas a partir do PBLU de Salvador.

De acordo com o PBLU de Salvador de 2012 (SESP/LIMPURB, 2012), cerca de 1.450.000 toneladas de RSU, foram gerados no município no ano de 2011. A maior parte destes resíduos ainda é destinada para o aterro sanitário municipal, havendo um percentual ainda muito baixo de segregação.

A caracterização dos RSU de Salvador em 2010 apresentou uma geração de cerca de 1.140 t por dia de matéria orgânica (SESP/LIMPURB, 2012). Havendo, portanto, um grande potencial de utilização deste resíduo para fins mais nobres ao invés da sua disposição em aterro. O quadro 1 a seguir apresenta os dados de tratabilidade dos RSU do município.

Quadro 1 – Características de Tratabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos - 2010

Componentes	Percentual (%)
Reciclável	46,11
Biodegradável	42,14
Descartável	11,75
<b>Total</b>	<b>100,00</b>

Fonte: LIMPURB, 2010 *apud* SESP, 2012

Dentre os resíduos sólidos gerados em Salvador, os resíduos orgânicos se destacam pelo grande volume de geração. Estes resíduos são compostos biodegradáveis que possuem sua origem de material animal ou vegetal. Entre as alternativas mais sustentáveis para a correta destinação dos resíduos sólidos orgânicos, podemos destacar o processo da compostagem e o processo da digestão anaeróbica com aproveitamento energético do metano gerado. Neste estudo, optou-se por avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de digestão anaeróbica.

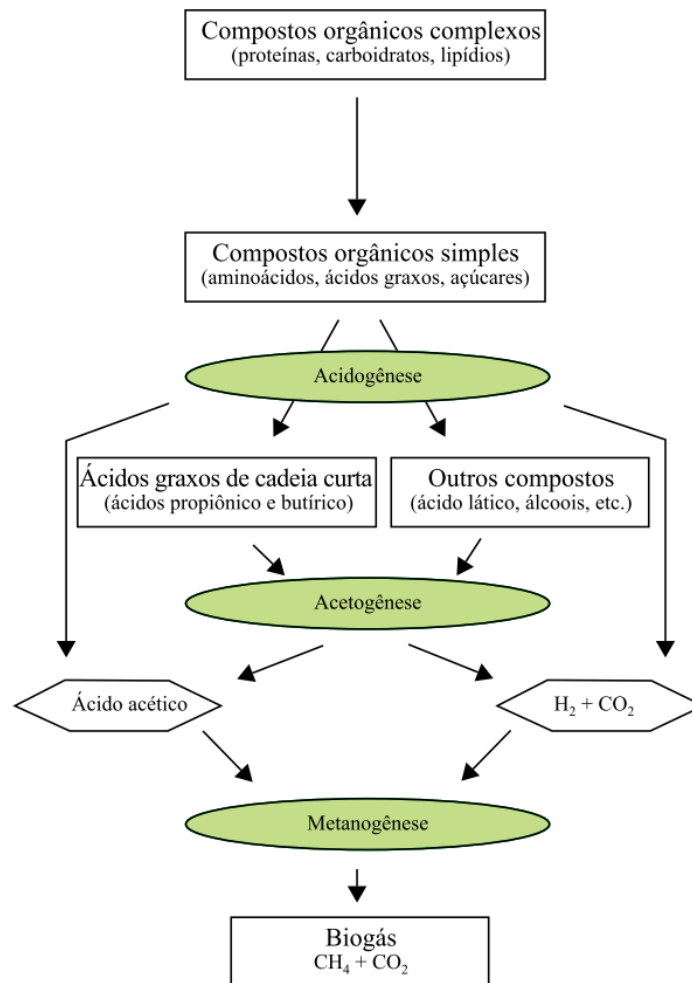
O processo de digestão anaeróbica consiste basicamente no tratamento de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio, através do uso de microorganismos em condições controladas, com o objetivo de oxidar a matéria orgânica, produzir biogás e produzir um composto orgânico que possa ser aproveitado na agricultura.

Segundo Carreas (2013), no processo de digestão anaeróbica, a degradação da matéria orgânica é realizada através de uma série de reações bioquímicas que são derivadas de distintas famílias de microrganismos. É, portanto, um processo considerado complexo. De fato, muitas reações ocorrem de forma simultânea.

Segundo FNR (2010), a mistura gasosa formada na digestão anaeróbica (denominada de biogás) é composta principalmente por metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume). O biogás contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases traço. A sua composição é influenciada principalmente pelos substratos utilizados, pela técnica de fermentação e pelas diferentes tecnologias de construção da usina.

A Figura 1 apresenta as etapas e transformações que ocorrem no processo de digestão anaeróbica.

Figura 1 – Esquema de Decomposição Anaeróbica

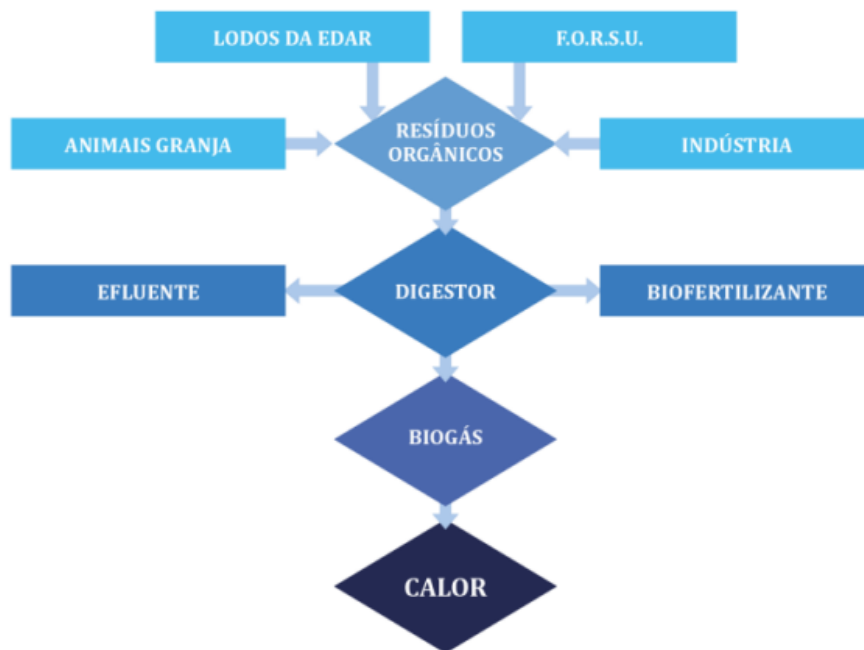


Fonte: FNR, 2010

Ainda segundo FNR (2010), o primeiro estágio do processo de digestão anaeróbica é a hidrólise, em que compostos orgânicos complexos, são decompostos em substâncias menos complexas. No processo atuam bactérias hidrolíticas através de enzimas liberadas. Por meio de bactérias acidogênicas, os compostos intermediários são então decompostos em ácidos graxos de cadeia curta, dióxido de carbono e hidrogênio na chamada fase acidogênica (acidogênese). Adicionalmente, formam-se também pequenas quantidades de ácido láctico e álcoois. Na acetogênese, esses compostos são convertidos por bactérias acetogênicas em precursores do biogás (ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono). No último estágio da formação do biogás, a metanogênese, as arqueas metanogênicas estritamente anaeróbicas convertem o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano. Os metanógenos hidrogenotróficos produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono, e os metanógenos acetoclásticos a partir da redução de ácido acético. De modo geral, as quatro fases do processo ocorrem paralelamente em um único estágio. No entanto, uma vez que as bactérias têm exigências diferentes, tais como o pH e a temperatura, deve ser definido um meio termo em relação à tecnologia do processo.

Existem vários substratos que podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbica. A figura 2 apresenta os diferentes substratos que podem ser alimentados à um biodigestor e os produtos gerados.

Figura 2 – Esquema de Decomposição Anaeróbica



Fonte: CARREAS, 2013

No presente estudo será considerada a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (FORSU) como substrato do processo de digestão anaeróbica.

Os substratos possuem diferentes potenciais de geração de biogás. O quadro 2 a seguir apresenta o potencial de geração de biogás de diversos substratos.

Quadro 2 – Produção Potencial de Biogás a Partir de Distintos Resíduos

Resíduo	Biogás Potencial (Nm <sup>3</sup> /t ST)	Riqueza em metano (%)
<b>Resíduos Urbanos</b>	400-700	60-65 (%)
<b>Lodos ETAR</b>	380-400	65-75
<b>Chorume suíno</b>	250-350	65-70
<b>Lodos lácteos</b>	950-1100	75
<b>Lodos papelreira</b>	180-210	55
<b>Papel jornal</b>	80-100	50
<b>Palha de trigo</b>	200-250	65

Fonte: Kübler (1999), Abring (1992), Slessor e Lewis (1979), Flotats (2000), Mata (1999), etc. *apud* Carreas, 2013

Segundo FNR (2010), a consistência dos substratos depende do seu teor de matéria seca, o que justifica a classificação básica da tecnologia de biogás em técnicas de digestão seca e técnicas de digestão úmida. A digestão úmida se realiza com substratos bombeáveis. A fermentação seca faz uso de substratos empilháveis. No presente estudo será considerada a tecnologia de fermentação seca.



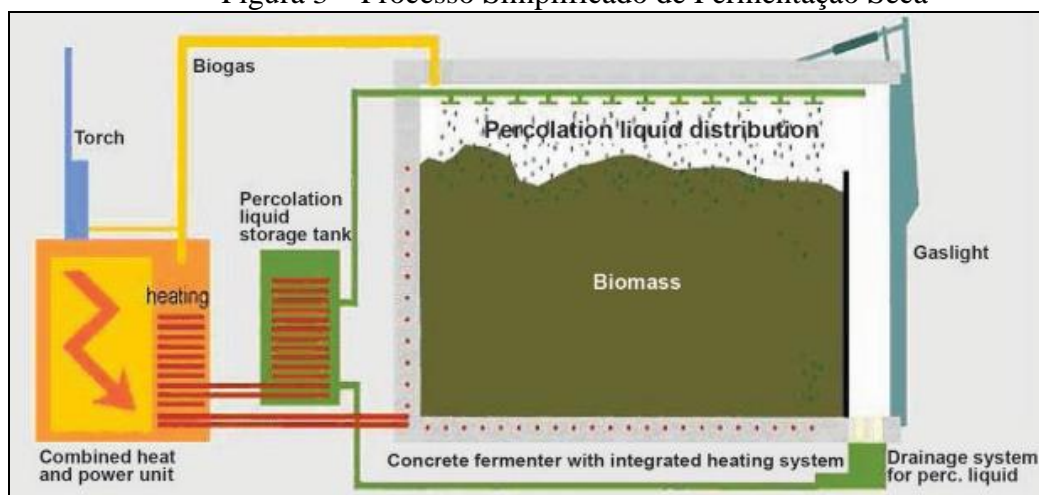
A escolha pela tecnologia de fermentação seca foi feita baseada na comparação entre algumas tecnologias disponíveis para o tratamento da FORSU como por exemplo a compostagem, a pirólise, a incineração e a fermentação úmida. As principais vantagens do processo de fermentação seca são: geração de biogás para aproveitamento energético se comparado com a compostagem, maior eficiência se comparado à pirólise e incineração devido a sua umidade relativamente elevada e não geração de efluente quando comparado à fermentação úmida.

Segundo EE Publishers (2016), o processo de fermentação seca, também conhecido como fermentação sólida, foi desenvolvido para lidar com biomassa com alto percentual de material seco ou sólido.

O processo de fermentação seca usa compartimentos de fermentação, que são geralmente muito maiores do que os fermentadores utilizados no processo de digestão úmida. Devido ao fato de ser utilizado material seco ou sólido, a forma dos compartimentos de fermentação se assemelha com uma espécie de garagem, e normalmente são construídos ao nível do solo. O material é carregado para o fermentador por meio de uma porta selada, utilizando tratores ou máquinas apropriadas. A matéria orgânica é inoculada com o substrato que já tenha sido fermentado. Em seguida, é introduzida no digestor e fermentada em condições herméticas. A inoculação com a matéria bacteriana se espalha na biomassa por recirculação do líquido de percolação, que é pulverizado sobre a matéria orgânica no digestor. A temperatura do processo (35 a 38°C em alguns casos e 50 a 55°C em outros) e do líquido de percolação é regulada por um sistema de aquecimento nas paredes do digestor e um permutador de calor no tanque de recirculação.

As diferentes reações de degradação da matéria orgânica (hidrólise, formação de ácidos e formação de metano) ocorrem então no digestor. Durante o processo de fermentação, não há necessidade de mistura, bombeamento ou agitação no interior do digestor. Isso reduz o consumo de energia e os custos de manutenção. As características particularmente interessantes deste sistema são o baixo teor de enxofre e o alto teor de metano no biogás produzido a partir do processo. A figura 3 apresenta um diagrama simplificado do processo de fermentação seca (EE PUBLISHERS, 2016).

Figura 3 – Processo Simplificado de Fermentação Seca



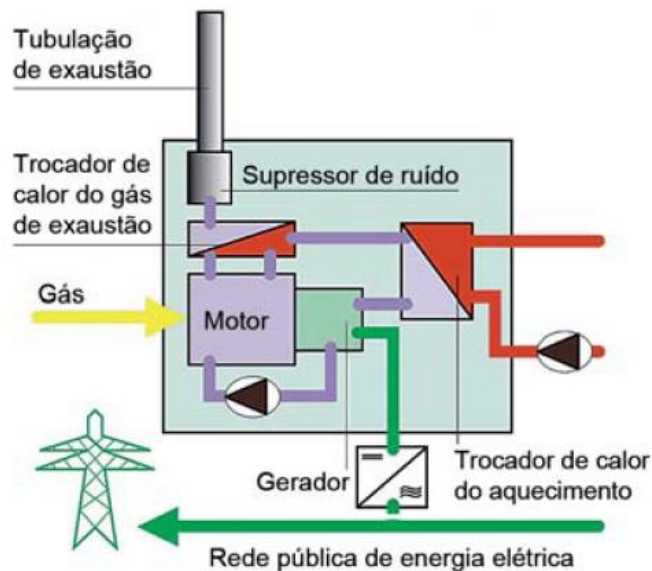
Fonte: EE Publishers, 2016

Ao final do tempo de retenção da matéria orgânica no biodigestor (25 a 28 dias), o resíduo sólido remanescente é removido pelo mesmo compartimento de entrada, e poderá ser utilizado como composto orgânico para utilização na agricultura após um pequeno ajuste final de seus parâmetros (umidade de cerca de 40% e granulometria adequada). O biogás gerado no processo pode ser enviado ao processo de cogeração onde é queimado e convertido em calor e energia elétrica.

A cogeração ou *CHP (Combined Heat and Power)* é a geração simultânea de eletricidade e calor. Na maioria dos casos, são utilizadas usinas de cogeração com motores de combustão acoplados a um gerador. Os motores operam a uma rotação constante de forma que o gerador acoplado possa fornecer energia elétrica compatível com a frequência da rede. Além disto, o módulo de cogeração é composto de trocadores de calor para a recuperação da energia térmica do gás de combustão, circuito de arrefecimento e óleo lubrificante, dispositivos hidráulicos para a distribuição de calor e dispositivos elétricos de controle e comutação para distribuir a energia e controlar a usina (FNR, 2010).

Após a implementação da resolução normativa 482 da ANEEL (2012), foram estabelecidas as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica no Brasil. De acordo com a resolução normativa 687 da ANEEL (2015), são classificados como minigeradores, as centrais geradoras, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada. A figura a seguir apresenta um esquema simplificado do processo de cogeração e da “injeção” da energia gerada na rede de distribuição.

Figura 4 - Estrutura esquemática de uma usina de cogeração [ASUE]



Fonte: ASUE, 2001, *apud* FNR, 2010

Outro produto gerado através do processo de digestão anaeróbica é o composto orgânico. Este composto é o resultado da decomposição de resíduos orgânicos que é



feita por meio da ação de microorganismos. Neste processo, também chamado de humificação, nutrientes são mineralizados gerando os macros e micros nutrientes que são essenciais às plantas. Normalmente esse composto é comercializado com uma umidade de cerca de 40% e com granulometria adequada conseguida através de processo de peneiramento.

Este produto tem tido uma grande demanda pelo mercado interno principalmente por conta do crescimento do setor agrícola orgânico. Além disto, o composto pode ser comercializado em lojas de plantas ornamentais que são encontradas nas grandes cidades.

### 3. METODOLOGIA

Para a realização do estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental foi necessário, inicialmente, a verificação da possibilidade de implantação do processo de digestão anaeróbica no município. Para tanto, foi preciso levantar a disponibilidade de matéria prima para o processo além de se investigar a facilidade de escoamento dos produtos gerados e/ou a carência dos serviços fornecidos.

O levantamento da disponibilidade de matéria prima (resíduo orgânico) para o processo foi feito através da consulta informal de dois restaurantes e de uma rede de supermercados localizados no bairro da Pituba em Salvador, que demonstraram interesse em contratar serviços de coleta e tratamento específicos para resíduos orgânicos com o intuito de melhorar a imagem da empresa e evitar o envio de resíduo orgânico para o aterro municipal.

Com relação ao mercado potencial para compra do composto orgânico, foram consultadas 3 empresas na região metropolitana de Salvador, especializadas em jardinagem, que confirmaram interesse pela compra de composto orgânico.

Após a análise do mercado em potencial, foi realizado um levantamento das empresas fornecedoras da tecnologia de fermentação seca, avaliando as características técnicas do processo e a aplicabilidade deste processo no cenário proposto. Esse levantamento foi feito através da internet com a busca de sites de empresas fornecedoras de tecnologia e posterior contato com as áreas técnicas e comerciais destas empresas. Apenas uma das empresas enviou proposta comercial para a implantação da tecnologia escolhida, sendo esta, portanto utilizada como base para o estudo.

Após esta etapa, foi feito um estudo da viabilidade financeira baseado na proposta comercial escolhida, considerando o cenário e os aspectos do mercado local. Nesta avaliação foram levantados alguns indicadores financeiros como o tempo de retorno (*pay back*), TIR (Taxa Interna de Retorno) e VPL (Valor Presente Líquido), com o intuito de se avaliar a atratividade do negócio. O tempo de retorno é um indicador usado para estimar em quanto tempo o capital investido no empreendimento vai ser recuperado. A TIR é uma taxa de desconto hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. A TIR é normalmente utilizada como parâmetro de comparação com relação à TMA (Taxa Mínima de Atratividade) que é a taxa que a empresa conseguiria ao investir o dinheiro em um banco sem assumir riscos elevados. O VPL também é um bom indicador para a determinação do sucesso do empreendimento, uma vez que ele representa, em valores atuais, o total dos recursos que permanecem em mãos da empresa ao final de toda a sua

vida útil. Parte dos valores dos investimentos direto e indireto foi retirado da proposta comercial recebida enquanto que os demais valores foram estimados baseados no seguinte quadro:

Quadro 3 – Critérios para estimativa de investimento

Nº	Itens	Critérios
1.0	Investimento indireto	1.1 + ... + 1.8
1.1	Estudos de viabilidade	variável
1.2	Incorporação do empreendimento	4 a 6% do item 3.0
1.3	“Know-how”	5 a 7% do item 2.1
1.4	Projeto básico	3% do item 2.1
1.5	Projeto de detalhamento	6% do item 2.0
1.6	Serviços de procura, inspeção e diligenciamento	3% do item 2.1
1.7	Pré-operação	1% do item 2.0
1.8	Contingências	10 a 20% do item 2.0
2.0	Investimento direto	
2.1	Investimento ISBL	
3.0	Investimento fixo	1.0 + 2.0
5.0	Capital de giro	10 a 20% do item 3.0

Fonte: Adaptado de Mustafa (2004)

Segundo Mustafa (2004), o valor inicial para as taxas, seguro e transporte pode ser considerado em torno de 5% do custo dos equipamentos.

Não foi considerado no estudo os custos e receitas gerados pela coleta dos resíduos. O modelo de negócio considera o recebimento do resíduo orgânico já separado dentro da unidade operacional para que possa ser feito o tratamento destes resíduos.

Por fim, foi feita uma avaliação através da elaboração de uma tabela comparativa, dos possíveis benefícios ambientais gerados no caso da implantação do empreendimento proposto, e das possíveis desvantagens do cenário atual (aterro sanitário) e do cenário com a tecnologia proposta no que se refere à destinação dos resíduos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disponibilidade de matéria prima tende a crescer bastante nos próximos anos, por conta da instituição do decreto Nº 25.316 de 12 de Setembro de 2014, que obriga os grandes geradores de resíduos do município de Salvador a promoverem a coleta, segregação, o transporte e a destinação dos seus resíduos sólidos. Por conta desse decreto surgiu uma demanda das empresas grandes geradoras, pela contratação tanto de serviços de coleta e transporte, quanto de serviços de tratamento e destinação dos seus resíduos. Esta prestação de serviço através da tecnologia proposta poderia garantir uma

receita para o tratamento do resíduo e matéria prima para produção de biogás e composto orgânico.

A demanda por composto orgânico tem uma tendência de crescimento, visto que de acordo com o Ministério da Agricultura (2015), houve crescimento da adesão dos produtores brasileiros ao mercado de orgânicos, que, além de oferecer alimentos mais saudáveis, promove a conservação e a recomposição dos ecossistemas. Entre janeiro de 2014 e janeiro de 2015, a quantidade de agricultores que optaram pela produção orgânica passou de 6.719 para 10.194, um aumento de cerca de 51,7%. As regiões onde há mais produtores orgânicos são o Nordeste, com pouco mais de 4 mil, seguido do Sul (2.865) e Sudeste (2.333).

As informações básicas do empreendimento proposto neste estudo foram acordadas junto à empresa detentora de tecnologia do processo de fermentação seca. Foi solicitado um sistema capaz de tratar 27 toneladas por dia da FORSU, visto que o município ainda não possui altos percentuais de segregação destes resíduos. A tabela 1 a seguir apresenta as informações gerais utilizadas na elaboração da proposta comercial pela empresa detentora da tecnologia.

Tabela 1 – Informações Gerais do Processo de Fermentação Seca

<b>Informações Gerais</b>	
<b>Capacidade de tratamento (t/dia)</b>	27
<b>Biogás produzido (m<sup>3</sup>/dia)</b>	3240
<b>Energia Gerada para Venda (kWh/dia)</b>	6936
<b>Substrato Digerido (58,5% úmido) (t/dia)</b>	23
<b>Composto produzido (40% úmido) (t/dia)</b>	16

Fonte: Próprio Autor

Na etapa de avaliação técnica da tecnologia escolhida, pode-se inferir que o sistema é viável para o cenário proposto, visto que apesar de ser uma tecnologia estrangeira, o processo é de operação relativamente simples, possuindo controle automático das variáveis e manutenção pouco frequente, pelo fato de não utilizar partes móveis dentro dos digestores. Além disto, estão incluídos na proposta da empresa detentora da tecnologia apoio para a partida do sistema, operação inicial e todo o treinamento necessário.

A primeira etapa para realizar a avaliação econômica do empreendimento proposto foi a estimativa do investimento necessário para a sua implantação. O cenário proposto considerou a cotação do Euro a R\$ 3,60 (cotação de setembro de 2016) e considerou a energia gerada no processo sendo compensada na conta de luz da empresa ou do órgão público, sendo convertido em receita, visto que gera um maior valor agregado para esta energia. A carga tributária aplicada foi de 11%, baseada na tabela do Simples Nacional. Os custos relativos à conexão da energia com a rede podem variar bastante, e neste estudo foram absorvidos como custos de contingência devido a essa imprecisão. A tabela 2 a seguir apresenta os valores dos itens que compõem o investimento direto para a implantação do empreendimento, enquanto que a tabela 3 apresenta os valores dos itens que compõem o investimento indireto.

Tabela 2 – Investimento Direto

<b>Investimento direto</b>	
	<b>Custo (R\$)</b>
(1) Terrenos e Melhorias	R\$ 355.169
(2) Equipamentos/Tubulação/Instrumentos	R\$ 2.275.200
(3) Construção	R\$ 1.983.600
(4) Unidade de Cogeração	R\$ 1.296.000
(5) Veículos e móveis	R\$ 71.034
(6) Inóculo Inicial	R\$ 972
(7) Fretes, Seguros e Taxas	R\$ 178.560
<b>Sub-Total</b>	<b>R\$ 6.160.535</b>

Fonte: Próprio Autor

Tabela 3 – Investimento Indireto

<b>Investimento Indireto</b>	
	<b>Custo R\$</b>
(1) Estudo de Viabilidade	R\$ 17.200
(2) Gerenciamento do Empreendimento	R\$ 126.000
(3) Engenharia	R\$ 183.600
(4) Contingências	R\$ 616.054
<b>Sub-Total</b>	<b>R\$ 942.854</b>

Fonte: Próprio Autor

Para a estimativa do investimento total, foi considerado um capital de giro de 10% da soma dos investimentos diretos e indiretos, totalizando cerca de R\$ 7.800.000.

Além do investimento total do empreendimento foram estimados os custos e receitas do sistema em operação. A tabela 4 apresenta os custos fixos e variáveis para o empreendimento e a tabela 5 apresenta as receitas e o valor residual ao fim da vida útil.

Foi considerada para a receita de energia elétrica um valor de R\$ 0,55/kW tendo como premissa a compensação de energia elétrica gerada pelo empreendimento para alguma empresa ou órgão público que neste caso teriam que ser os investidores. Para a receita de tratamento do resíduo foi considerado o valor de R\$ 71/t de resíduo orgânico recebido que é o mesmo valor cobrado pelo aterro municipal, enquanto que para a receita de venda de composto orgânico foi considerado o valor médio de mercado pesquisado através da internet que foi estimado em R\$ 300/t de composto.

Tabela 4 – Custos Fixos e Variáveis

<b>Custos Fixos</b>	
	<b>Custo (R\$ / ano)</b>
(1) Mão de Obra da Operação	R\$ 594.000
(2) Gastos com Manutenção	R\$ 71.034
(3) Gastos com Laboratório	R\$ 29.700
(4) Seguros e Taxas	R\$ 35.517
(5) Depreciação	R\$ 765.745
<b>Sub-Total</b>	<b>R\$ 1.495.996</b>
<b>Custos Variáveis</b>	
	<b>Custo (R\$ / ano)</b>

<b>(1) Utilidades</b>	R\$	22.627
<b>Sub-Total</b>	R\$	22.627

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5 – Receitas e Valor Residual

Receitas e Valor Residual		
<b>(1) Valor Residual (R\$)</b>	<b>R\$</b>	<b>156.275</b>
<b>(2) Receita Líquida (R\$/ano)</b>	<b>R\$</b>	<b>3.831.310</b>
(2.1) Energia Vendida (R\$/ano)	R\$	1.392.402
(2.2) Tratamento do RSU (R\$/ano)	R\$	696.946
(2.3) Composto Vendido (R\$/ano)	R\$	1.741.963

Fonte: Próprio Autor

Por fim foi elaborado o fluxo de caixa esperado para se avaliar a atratividade do negócio. A tabela 6 apresenta o fluxo de caixa para o empreendimento proposto.

Tabela 6 – Fluxo de Caixa Anual Esperado

Fluxo de caixa anual (Milhões de R\$)											
Ítems	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Receitas líquidas</b>	R\$ -	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4	R\$ 2,4
<b>Receita com compensação de energia (isento)</b>	R\$ -	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4	R\$ 1,4
<b>Custos variáveis</b>	R\$ -	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0
<b>Custos fixos com depreciação</b>	R\$ -	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5	R\$ 1,5
<b>Lucro bruto</b>	R\$ -	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9	R\$ 0,9
<b>Impostos</b>	R\$ -	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1	R\$ 0,1
<b>Lucro líquido</b>	R\$ -	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2	R\$ 2,2
<b>Depreciação</b>	R\$ -	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8	R\$ 0,8
<b>Geração de caixa</b>	R\$ -	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0	R\$ 3,0
<b>Valor residual</b>	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 0,2
<b>Investimento total</b>	R\$ 7,8	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
<b>Fluxo de caixa</b>	<b>R\$ (7,8)</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,0</b>	<b>R\$ 3,1</b>

Fonte: Próprio Autor

Foi considerada uma TMA de 14%. Os indicadores financeiros obtidos através do fluxo de caixa foram um VPL de cerca de R\$ 6.800.000, uma TIR de 36% e o retorno do investimento foi estimado em pouco menos de 3 anos de operação do sistema. A vida útil considerada foi de 10 anos.

Para a análise dos benefícios ambientais gerados pela implantação deste tipo de empreendimento, foi elaborada uma tabela comparando os aspectos ligados à destinação do resíduo orgânico para o aterro e para o processo proposto. A tabela 7 a seguir apresenta qual das destinações possuem maiores impactos positivos para o meio ambiente.

Tabela 7 – Comparação dos Impactos Ambientais Causados pelo Aterro x Biodigestor

Aspectos	Aterro Sanitário	Biodigestão (Fermentação Seca)	Impacto Positivo (A - Aterro / B - Biodigestão)
Efluente (Chorume)	Há geração de chorume tóxico que em caso de falha no sistema de impermeabilização pode contaminar o lençol freático	O chorume orgânico (chamado de percolato) é recirculado no processo, não havendo a geração de efluente de forma contínua.	B
Emissões gasosas	Alguns aterros fazem a captação e queima do biogás gerado, no entanto a recuperação média é de cerca de 50%, ocorrendo emissão considerável de metano para a atmosfera. (FILHO, 2005).	O metano produzido é 100% queimado na cogeração ou beneficiado para ser usado como combustível. Os vazamentos de metano são mínimos.	B
Geração de Energia	Alguns aterros geram energia a partir do biogás, no entanto a recuperação é de cerca de 50% do metano gerado.	O biogás pode ser todo convertido em energia, calor e perdas.	B
Produção de Composto Orgânico	Não há produção de composto orgânico e todo o resíduo remanescente do aterro não pode ser reaproveitado por conta da sua contaminação.	O substrato digerido no processo pode ser utilizado como composto orgânico após ajuste de umidade, podendo ter um importante uso agrícola.	B
Disponibilidade de Área	Os aterros necessitam de grandes áreas para a disposição e o acúmulo dos resíduos sólidos. Após um determinado tempo, a vida útil do aterro é esgotada e são necessárias novas áreas para novos aterros serem construídos.	No processo de biodigestão há uma necessidade de área reduzida e não há acúmulo de resíduo sólido, não havendo a necessidade da utilização de novas áreas.	B
Odores	Os aterros emitem odores indesejáveis visto que normalmente nem todo o gás gerado no aterro é captado.	Nos biodigestores não há geração de odores significativos visto que o processo é vedado e o gás gerado é filtrado e queimado na cogeração ou beneficiado para ser usado como combustível.	B
Logística	Os aterros demandam grandes áreas para acúmulo e disposição dos resíduos sólidos e emitem fortes odores indesejáveis, sendo normalmente localizados em regiões distantes dos centros urbanos.	No processo de biodigestão não há necessidade de grandes terrenos e não há a geração de odores indesejáveis podendo, portanto ser localizados mais próximos dos centros urbanos.	B

Fonte: Próprio Autor



Observa-se através da tabela 7, que o processo de biodigestão por fermentação seca apresenta diversas vantagens do ponto de vista ambiental com relação ao aterro sanitário. Sendo assim, o EVTEA realizado, se mostrou bastante satisfatório em todos os seus aspectos.

#### **4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através do EVTEA do processo de biodigestão por fermentação seca, foi possível se avaliar a utilização de tecnologia alternativa para o tratamento da FORSU gerada no município de Salvador. O processo estudado possui diversas vantagens quando comparado a outros processos como, por exemplo, a possibilidade de aproveitamento energético do gás gerado, a produção de composto orgânico, a não geração de efluentes, a utilização de área relativamente pequena, a ausência de fortes odores e a maior proximidade de centros urbanos. Os índices financeiros indicaram uma boa atratividade do negócio, com uma TIR de 36% e um tempo de retorno do investimento de pouco mais de 3 anos, demonstrando que a implantação desta tecnologia é bastante viável tecnicamente, economicamente e ambientalmente dentro do cenário proposto.

A busca pela destinação ambientalmente mais adequada dos resíduos sólidos não apenas pode trazer benefícios ao ambiente como também benefícios financeiros e melhoria da eficiência de gestão dos resíduos. A confirmação de uma atratividade para o negócio incentiva os investimentos no setor tanto na esfera empresarial quanto na esfera governamental.

O presente estudo apresenta aos gestores públicos, empresários e interessados no ramo o potencial que o setor de resíduos sólidos possui e ajuda a evidenciar que ao invés de serem tratados como resíduos deveriam ser tratados como matérias primas.

Algumas políticas de incentivo ainda precisam ser melhoradas ou aprimoradas de forma a contribuir para o setor, como por exemplo, as políticas voltadas ao setor energético que devem incentivar a correta destinação e a geração de energia através do aproveitamento energético dos resíduos sólidos.

Além disto, o país carece de investimentos em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias voltadas para o setor. Uma das dificuldades para a viabilidade de negócios no ramo é a necessidade de busca por tecnologias e processos que existem apenas no exterior. É importante que o país invista mais em soluções de longo prazo e menos imediatistas com o intuito de promover um desenvolvimento contínuo do país. A falta de investimento em pesquisa e tecnologia só aumenta a dependência do Brasil em relação a países estrangeiros o que muitas vezes o torna um país pouco competitivo e ineficiente em diversos setores.

Outro benefício observado através do uso da tecnologia estudada é a possibilidade de uso do substrato digerido como composto orgânico. Este composto pode estimular o setor agrícola, principalmente o setor de pequenos produtores orgânicos que moram próximos aos grandes centros urbanos, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos.

O potencial de produção de energia elétrica a partir da fração orgânica de RSU também se observa para os resíduos agroindustriais e para o esgoto sanitário, podendo impactar na matriz energética brasileira e ajudar a suprir a crescente demanda por energia.

O biogás pode ser tratado e convertido em biometano após a separação do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S ou pode passar apenas por filtros para remoção de H<sub>2</sub>S e ser queimado no processo de cogeração gerando calor e energia elétrica que pode ser “injetada” na rede. O presente estudo optou por avaliar o processo de queima do biogás através da cogeração devido à burocracia e falta de regulamentação ainda dos órgãos responsáveis para possibilitar a comercialização do biometano.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar a viabilidade de utilização do biogás gerado no processo para produção de biometano após o beneficiamento do biogás através da separação de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S. Além disto, pode ser avaliada a geração de créditos de carbono através dos mecanismos de desenvolvimento limpo o que poderia gerar uma maior receita. Por fim, é importante que diversas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos possam ser avaliadas e comparadas com o intuito de se obter mais informações que possam servir como diretriz para a escolha da solução mais viável para cada tipo de cenário.

---

## 5. REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução normativa 482 de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica, abr 2012.

ANEEL. **Resolução normativa 687 de 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Agência Nacional de Energia Elétrica, nov 2015.

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, DF, 02 ago 2010.

CARREAS, N. **O Biogás.** ONUDI – Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe. Programa de Capacitação de Energias Renováveis. 2013.

EE PUBLISHERS. **Technology & Business for Development.** Disponível em: <<http://www.ee.co.za/>>. Acesso em: 15 jun 2016.

FILHO, L, F, B. **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. **Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização.** Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha (BMELV). Gülzow, Alemanha, 2010.

Ministério da Agricultura. **Número de produtores orgânicos cresce 51,7% em um ano.** Brasília, DF, mar 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 08 jul 2016.

MUSTAFA, G, S. **Avaliação Econômica de Projetos Industriais.** Universidade Salvador - UNIFACS, Salvador, 2004.

SESP/LIMPURB. **Plano Básico de Limpeza Urbana.** Salvador, BA, jun 2012. Disponível em: <<http://www.limpurb.salvador.ba.gov.br/>>. Acesso em: 22 abr 2016.