



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



**ROSELI VISENTIN**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO PARA  
FINS AGRÍCOLAS**

**Botucatu**

**2019**



**ROSELI VISENTIN**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO PARA  
FINS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Agronomia -  
Energia na Agricultura.

Orientadora: Maura Seiko Tsutsui Esperancini  
Coorientadora: Caroline de Moura D'Andréa  
Mateus

**Botucatu**

**2019**

V829v Visentin, Roseli  
Viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para fins agrícolas / Roseli Visentin. -- Botucatu, 2019  
69 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientadora: Maura Seiko Tsutsui Esperancini  
Coorientadora: Caroline de Moura D'Andréa Mateus

1. Ciências econômicas. 2. Ciências agrárias. 3. Logística. 4. Processo de compostagem. 5. Aterro sanitário. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: “VIABILIDADE ECONÔMICA DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO PARA FINS AGRÍCOLAS”

AUTORA: ROSELI VISENTIN

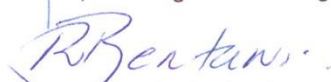
ORIENTADORA: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

COORIENTADORA: CAROLINE DE MOURA D'ANDRÉA MATEUS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI  
Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Dr.<sup>a</sup> ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI  
Pesquisa e Desenvolvimento / APTA - Regional Bauru



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> NÚRIA ROSA GAGLIARDI QUINTANA  
./ UNIBR - Faculdade de Botucatu

Botucatu, 13 de junho de 2019.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus queridos pais e irmãos.

À Profa. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini, pela orientação e ensinamentos que muito contribuíram para o resultado final deste estudo.

À Dra. Caroline de Moura D'Andréa Mateus pela coorientação, conhecimentos e experiência compartilhada.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas pela confiança que depositou em mim ao me aceitar como parte da especial equipe que trabalhou neste projeto.

À Profa. Dra. Núria Rosa Gagliardi Quintana pela disponibilidade em participar da banca examinadora e por suas sugestões e contribuição.

À Profa. Dra. Rosemary Marques de Almeida Bertani por ter dividido comigo seu conhecimento e experiência, além de participar da banca examinadora.

Ao pessoal da Biblioteca prof. Paulo de Carvalho Mattos que sempre me dispensaram atenção e ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos aqueles que de alguma forma estiveram presentes em minha vida durante esta jornada.





## RESUMO

O uso do lodo de esgoto, um dos resíduos de efluentes do tratamento de esgoto, tem sido tema amplamente abordado sob os aspectos ambiental, legal e econômico. Isto se deve à sua crescente produção, consequência do aumento do serviço de saneamento básico e complexidade da composição do lodo de esgoto, rico em nitrogênio, porém com carga patogênica que deve ser eliminada por processo economicamente viável, permitindo seu uso à luz da legislação vigente. Um dos usos deste resíduo é o agrícola, que pelo processo de compostagem, quando associado com material estruturante, rico em carbono, propicia a eliminação de patógenos e homogeneização da mistura que recebe a denominação de fertilizante orgânico composto classe D, podendo, então, ser aplicado no solo e em culturas predeterminadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto produzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizada na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu, misturado com duas fontes de carbono: bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto. A mistura permaneceu em estufa por dois meses, período em que foi revolvida por máquina compostadora, de acordo com parâmetros avaliados periodicamente, tais como a temperatura e umidade. A análise econômica deste projeto foi realizada com acompanhamento do processo, coleta de dados e elaboração de fluxos de caixa representados pela diferença entre o investimento em instalações e equipamentos, custos da operação de compostagem e as receitas de comercialização do fertilizante orgânico e da economia de custos com transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. Os indicadores Valor presente líquido (VPL), Taxa interna de retorno (TIR), *Payback* descontado (PBD) e Relação benefício custo (B/C) foram calculados para seis cenários: combinação de dois tipos de material estruturante e três fontes de receita. A alternativa mais viável foi a que utilizou bagaço de cana-de-açúcar, tomando-se como receita a comercialização do fertilizante orgânico e a economia de custos com o transporte e a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. Os resultados desta combinação foram VPL de R\$ 3.669.997, TIR igual a 84%, PBD de 1,3 anos e B/C de 2,83, demonstrando a viabilidade econômica do projeto.

**Palavras-chave:** Adubação orgânica. Benefício econômico. Saneamento básico.



## ABSTRACT

The use of sewage sludge, a waste of the sewage treatment effluents, has been the subject widely discussed under environmental, legal and economic aspects. This is due to increasing to its production, as a result of the increase of the basic sanitation service, complexity of the composition of sewage sludge, rich in nitrogen, but with pathogenic load which must be eliminated by an economically viable process, allowing its use in light of the legislation in force. One of the uses of this residue is agriculture, which by the process of composting, when associated with structural material, rich in carbon, promotes the elimination of pathogens and homogenization of the mixture that receives the title of organic compound fertilizer class D, which may then be applied in the soil and in predetermined cultures by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The objective of this work was to evaluate the economic viability of composting of sewage sludge produced at Sewage Treatment Station (STS) located at the Experimental Farm Lageado, in the city of Botucatu, mixed with two carbon sources: sugarcane bagasse and eucalyptus bark. The mixture remained in the greenhouse for two months, during which time it was stirred by composter machine, according to periodically evaluated parameters, such as temperature, humidity. The economic analysis of this project was accomplished with the process monitoring, data collection and preparation of cash flows represented by the difference between the investment in plant and equipment, composting operation costs and revenues from marketing of organic fertilizer and the cost savings with transport and disposal of sewage sludge in landfill. The indicators Net present value (NPV), Internal rate of return (IRR), Discounted payback period (DPP) and Benefit-cost ratio (BCR) were calculated for six scenarios: a combination of two types of structural material and three sources of revenue. The most viable alternative was the used sugarcane bagasse, taking as revenue of the commercialization of the organic fertilizer and the cost savings with the transport and disposal of sewage sludge in sanitary landfill. The results of this combination were NPV R\$ 3.669.997, IRR equal to 84%, DPP of 1.3 years and BCR of 2.83, demonstrating the economic viability of the project.

**Keywords:** Organic fertilizing. Economic benefit. Basic sanitation.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Desempenho do saneamento básico por estado em 2015.....	21
Figura 2 – Disposição do lodo em <i>bags</i> na ETE Limoeiro - Presidente Prudente - SP .....	22
Figura 3 – Compactação e nivelamento do terreno para construção da estufa de compostagem.....	30
Figura 4 – Estufa para compostagem.....	31
Figura 5 – Baia com piso concretado para depósito de lodo de esgoto.....	31
Figura 6 – A: Bagaço de cana-de-açúcar; B: Casca de eucalipto.....	32
Figura 7 – Kit de elevação mecânica e compostador de resíduos.....	33
Figura 8 – Montagem da máquina compostadora. ....	33
Figura 9 – Máquina compostadora. ....	34
Figura 10 – Lodo de esgoto depositado em caçamba na ETE.....	35
Figura 11 – Operação com retroescavadeira e caminhão basculante para montagem das leiras de compostagem.....	36
Figura 12 – Uso de caminhão basculante para formar as leiras de compostagem na estufa. ....	36
Figura 13 – Medição de temperatura com sensores acoplados a dataloguer. ....	37
Figura 14 – Leiras de compostagem sendo revolvidas com a máquina compostadora. ....	37
Figura 15 – Leiras de compostagem no início e final do processo. ....	38
Figura 16 – Raio de 50 km a partir do município de Botucatu.....	60



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição percentual dos municípios com tratamento de lodo de esgoto e destino do lodo de esgoto por regiões do Brasil – 2008 .....	23
Tabela 2 – Parâmetros operacionais do processo de compostagem .....	46
Tabela 3 - Coeficientes para cálculo dos investimentos e custos do processo de compostagem – (A).....	47
Tabela 4 - Coeficientes para cálculo dos investimentos e custos do processo de compostagem (B).....	48
Tabela 5 - Matéria-prima utilizada e produção de fertilizante orgânico.....	49
Tabela 6 - Coeficientes de cálculo das receitas para um ano de operação de compostagem.....	49
Tabela 7 - Operações manuais realizadas no processo de compostagem .....	50
Tabela 8 - Operações mecanizadas realizadas no processo de compostagem .....	50
Tabela 9 - Receita obtida com o processo de compostagem .....	51
Tabela 10 - Tipo de ME e origem da receita para composição dos fluxos de caixa e cálculo dos indicadores econômicos .....	51
Tabela 11 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico (combinação A) .....	52
Tabela 12 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Economia de custos (combinação B) .....	52
Tabela 13 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico e Economia de custos (combinação C).....	53
Tabela 14 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico (combinação D) .....	53
Tabela 15 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Economia de custos (combinação E) .....	54
Tabela 16 - Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico e Economia de custos (combinação F) .....	54
Tabela 17 - Indicadores econômicos segundo o tipo de ME e de receita gerada .....	55
Tabela 18 - Área plantada de milho no município de Botucatu e no estado de São Paulo e demanda por fertilizante orgânico .....	59

Tabela 19 - Produção de milho por município e uso de fertilizante orgânico .....	61
Tabela 20 - Produção de fertilizante orgânico e utilização na cultura de milho .....	62
Tabela 21 - Simulação do custo de frete de fertilizante orgânico para várias distâncias.....	62
Tabela 22 - Custo de transporte e disposição de lodo de esgoto em aterro sanitário localizado em Paulínia – SP .....	63



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC	Bagaço de cana-de-açúcar
BCR	<i>Benefit- cost ratio</i>
CE	Casca de eucalipto
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C/N	Relação Carbono e Nitrogênio
DPP	<i>Discounted payback period</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAPESP	Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCA	Faculdade de Ciências Agrônomicas
FGV	Fundação Getúlio Vargas
hp	<i>Horse Power</i> (unidade de potência)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IRR	<i>Internal rate of return</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ME	Material estruturante
NPV	<i>Net present value</i>
PBD	<i>Payback</i> Descontado
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i>
VPL	Valor Presente Líquido



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Saneamento básico.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Compostagem do lodo de esgoto .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Avaliação econômica de projetos .....</b>	<b>23</b>
2.3.1	Taxa mínima de atratividade (TMA) .....	24
2.3.2	Valor presente líquido (VPL) .....	25
2.3.3	Taxa interna de retorno (TIR) .....	25
2.3.4	Payback descontado (PBD).....	25
2.3.5	Razão benefício custo (B/C) .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Fonte de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização da área experimental.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Matéria-prima .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Máquinas e equipamentos .....</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Processo de compostagem.....</b>	<b>34</b>
3.6.1	Produtividade do processo por material estruturante (ME) .....	38
<b>3.7</b>	<b>Preço do fertilizante orgânico.....</b>	<b>39</b>
<b>3.8</b>	<b>Avaliação econômica do processo de compostagem .....</b>	<b>40</b>
3.8.1	Investimento inicial do projeto .....	40
3.8.2	Vida útil do projeto, equipamentos e instalações.....	41
3.8.3	Atualização de valores e taxa mínima de atratividade (TMA) .....	41
3.8.4	Custos.....	41

<b>3.9</b>	<b>Receitas .....</b>	<b>43</b>
<b>3.10</b>	<b>Indicadores de viabilidade econômica .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros operacionais .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Operações manuais e mecanizadas da compostagem .....</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>Receitas .....</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Fluxo de caixa e indicadores econômicos.....</b>	<b>51</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>Logística do processo .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>Características dos municípios.....</b>	<b>57</b>
<b>5.3</b>	<b>Tipo de tratamento de esgoto.....</b>	<b>57</b>
<b>5.4</b>	<b>Material estruturante (ME) .....</b>	<b>58</b>
<b>5.5</b>	<b>Instalações e equipamentos .....</b>	<b>58</b>
<b>5.6</b>	<b>Demanda por fertilizante orgânico.....</b>	<b>59</b>
<b>5.7</b>	<b>Transporte do fertilizante orgânico .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A concentração populacional urbana, o maior acesso aos serviços de saneamento básico e a expansão das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), são fatores que tem levado à maior produção de lodo de esgoto em todo o Brasil.

Se por um lado as ETEs minimizam a poluição dos rios, evitando que estes recebam a carga poluidora constante nos esgotos, por outro, há maior produção de lodo de esgoto, um dos resíduos do tratamento dos esgotos, que devido à carga de patógenos e metais pesados presentes em sua composição, precisam de destino ambiental e econômico viáveis.

O Brasil teria produzido em 2015, aproximadamente dois milhões de m<sup>3</sup> de lodo de esgoto, segundo estimativa feita a partir do volume de lodo de esgoto produzido na ETE localizada na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu, em função dos dados do presente estudo, colhidos durante os anos de 2016 e 2017.

Ressalta-se que, em 2015, apenas 57% do total da população urbana brasileira era atendida por serviço de saneamento e deste percentual de esgoto coletado, somente 73% eram tratados, apontando para o potencial crescimento de produção de lodo de esgoto (SNIS, 2015).

O reaproveitamento deste material ainda não é prática comum no Brasil, sendo os aterros sanitários a solução mais utilizada para seu descarte, apesar do custo deste tipo de operação e da própria limitação dos aterros, impactando negativamente na economia e meio ambiente de seu entorno.

O lodo de esgoto produzido na ETE Lageado – Botucatu, até o ano de 2017 era enviado para o aterro de Paulínia, que dista 170 km de Botucatu, por ser o aterro mais próximo e apto técnica e legalmente para receber este tipo de material, sendo que esta restrição também onera os custos de transporte devido à distância entre as ETEs e aterros sanitários.

Para reaproveitar este resíduo uma das alternativas que vem sendo estudada no Brasil é a compostagem do lodo de esgoto, que o torna apto para utilização com finalidade agrícola e florestal, desde que sejam atendidos os requisitos legais do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A compostagem pode ser definida como um processo natural de biodegradação da matéria orgânica, influenciado pela aeração, temperatura,

umidade e nutrientes presentes no lodo de esgoto, rico em nitrogênio, e no material estruturante (ME) que fornece carbono à mistura.

Os MEs, ora selecionados, foram o bagaço de cana-de-açúcar (BC) e a casca de eucalipto (CE), não só pelas suas características físicas, químicas e biológicas, apropriadas à compostagem, mas também por serem materiais de descarte e por apresentarem disponibilidade na região de Botucatu, reduzindo o valor do frete.

A proporção ideal de cada material, quantidade de revolvimentos da mistura, a temperatura e o tempo de compostagem foram controlados para que ocorresse a desinfecção do material pela redução ou eliminação de patógenos presentes no lodo de esgoto, além da homogeneização do material.

Além do caráter técnico e legal, atendido pelo processo de compostagem, uma característica importante deste projeto foi o dimensionamento das instalações, equipamentos e quantidade de insumos de maneira a viabilizar economicamente a produção de fertilizante orgânico com enfoque comercial.

A viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto, objetivo deste estudo, traduzida pelos indicadores: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *Payback* Descontado e Relação Benefício Custo, representam, além da avaliação realizada na ETE Botucatu, a possibilidade de replicar esta mesma prática em outras ETEs que busquem transformar o lodo de esgoto de forma ambiental e econômica viáveis.

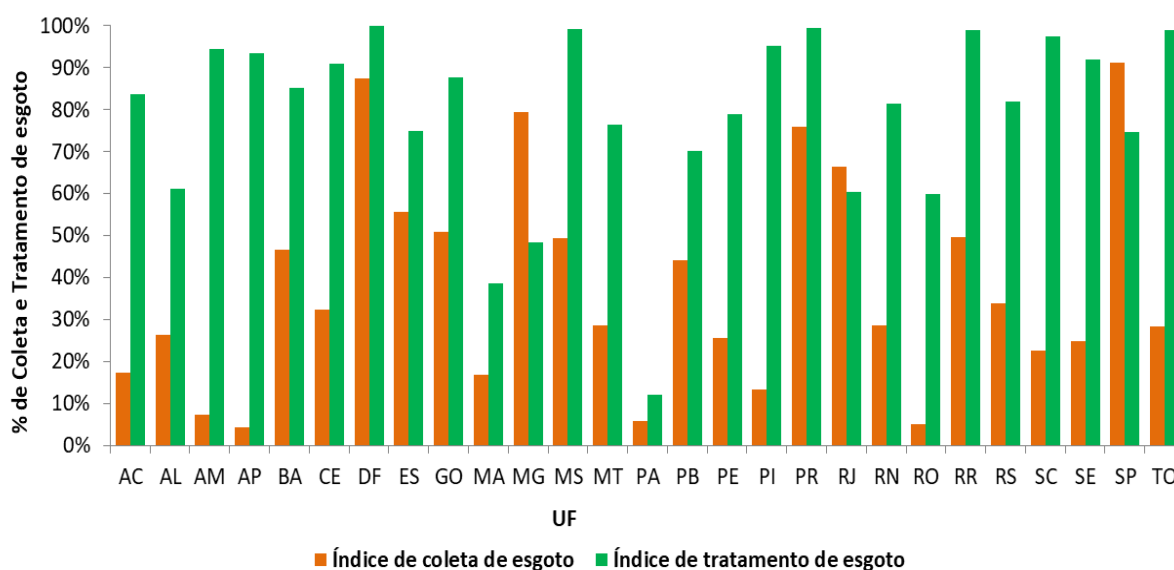
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Saneamento básico

Entre as décadas de 1970 e 2010 a população urbana brasileira passou de 56% para 84% (IBGE, 2017) e, como consequência deste crescimento e adensamento populacional, houve a necessidade de adequação da infraestrutura básica das cidades.

Em 2015, a população urbana brasileira atendida pelo serviço de saneamento era de 99 milhões de habitantes, ou seja, somente 58% da população urbana total tinham esgoto coletado. O esgoto coletado era 5.147.997 (em 1000 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) e, deste volume, apenas 73% eram tratados, com diferenças significativas quando se observa os números por estado (Figura 1) (SNIS, 2015).

**Figura 1 – Desempenho do saneamento básico por estado em 2015**



Fonte: SNIS, 2015

No estado de São Paulo a SABESP, em 2015, era responsável pelo sistema de saneamento de 365 municípios, atendendo 85% da população e tratando 79% do esgoto coletado (SNIS, 2017).

Mesmo no estado de São Paulo, que apresenta bons indicadores de coleta e tratamento, existem alguns municípios de grande destaque econômico no estado, tais como Bauru, Guarulhos e Marília que tratavam, respectivamente, apenas 4,0%, 6,0% e 3,0% do esgoto coletado, evidenciando que o saneamento e o lodo de

esgoto ainda precisam de outro enfoque, mesmo em municípios considerados pujantes (SINIS, 2015).

A ampliação do serviço de saneamento é um dos itens de infraestrutura que tem sido demandado pela sociedade e pelas agências ambientais, tendo como consequência direta o aumento de produção de lodo de esgoto (ANDREOLI et al., 2014), um dos resíduos produzido nas ETEs.

Apesar do aumento de produção, o gerenciamento deste resíduo nem sempre foi visto como parte relevante do processo de saneamento, sendo, algumas vezes acumulado na própria ETE, como é o caso de Presidente Prudente – SP, que trata 100% do esgoto coletado, mas dispõe o lodo de esgoto em *bags* na própria ETE (FERNANDES e SILVA, 1999) (Figura 2).

**Figura 2 – Disposição do lodo em *bags* na ETE Limoeiro – Presidente Prudente - SP**



A solução mais utilizada no Brasil são os aterros sanitários especiais (públicos ou privados) que podem receber o lodo de esgoto, mas que não necessariamente estão próximos às ETEs e, portanto, geram custos adicionais ao saneamento devido ao seu transporte por longas distâncias, além da capacidade finita destes aterros e da desvalorização imobiliária do seu entorno (TSUTYA, 2000).

Este cenário foi resultado da maior preocupação com a técnica de tratamento de esgoto e menor atenção ao resíduo produzido no final do processo de saneamento, o que incluía sua distribuição por locais impróprios de forma não



críteriosa, gerando possibilidade de contaminação do solo com patógenos e metais pesados (COLODORO, 2005).

Nos Estados Unidos, Austrália, Canadá e em alguns países da Europa, o lodo doméstico é utilizado na agricultura há pelo menos 50 anos e o Brasil vem estudando esta solução somente nos últimos 10 a 15 anos (COLODORO, 2005).

No Brasil, em 2008, verifica-se que não havia uma única região que pudesse ser adotada como referência para o destino do lodo de esgoto (IBGE, 2008, Tabela 1).

**Tabela 1 – Distribuição percentual dos municípios com tratamento de lodo de esgoto e destino do lodo de esgoto por região do Brasil – 2008**

Região	% Tratamento de esgoto	% Destino do lodo gerado pelo processo de tratamento do esgoto					
		Rio Mar	Terreno baldio	Aterro sanitário	Incineração	Reaproveitamento	Outro
Norte	8	11	11	31	0	6	29
Nordeste	17	10	15	16	5	10	13
Sudeste	47	14	5	36	1	4	20
Sul	23	5	4	24	0	35	30
Centro Oeste	25	3	1	36	0	10	21

Fonte: IBGE, 2008.

Com exceção da região Sul, que em 2008 tinha o maior percentual de reaproveitamento do lodo de esgoto (35%), devido, principalmente, ao estado do Paraná que reaproveitava 48% do lodo gerado, verifica-se que nas regiões Norte e Nordeste, além do baixo índice de tratamento do esgoto, os lodos de esgoto ainda eram dispostos em terrenos baldios com percentuais superiores a 10%.

Isto deve-se principalmente ao custo do processamento e disposição final do lodo de esgoto, o qual chegava a representar até 60% do custo operacional de uma ETE (ANDREOLI, et al. 2014).

O município de Botucatu, se comparado com os números do saneamento no Brasil, apresentava, em 2015, situação melhor do que a média do país. Do esgoto coletado, 100% eram tratados pela Sabesp e apenas 9% da população não tinha acesso à rede de saneamento básico.

O descarte deste resíduo já vinha sendo estudado pela SABESP e UNESP-FCA, buscando-se alternativas para o seu destino final, pois o transporte e a

disposição deste material em aterro sanitário gerou no ano de 2015 um custo anual de R\$ 1.466.438,40 (MARTINS, 2016).

A dificuldade em eliminar a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário e seu conseqüente custo, está vinculada a diversos fatores que comprometem a criação de um protocolo de atuação. Exemplifica esta situação, os vários tipos de tratamento de esgoto adotados nas ETEs e que geram lodo de esgoto com diferentes características, dificultando a uniformização de critérios para equacionar o problema. No caso da SABESP, por exemplo, estes tipos de tratamento são: lodo ativado, reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), lagoa facultativa, lagoa anaeróbia, baias e valas de infiltração e flotação (SABESP, 2018).

Além da diversidade dos tipos de tratamento do esgoto, a condição socioeconômica da população e a vocação econômica dos municípios também determinam as características de esgoto produzido, gerando mais um entrave para que se consiga dar um destino ao lodo de esgoto de forma viável econômica e ambientalmente.

## **2.2 Compostagem do lodo de esgoto**

Em busca de alternativas viáveis sob os aspectos legais, ambientais e econômicos para aproveitamento e/ou disposição do lodo de esgoto, hoje são avaliadas: uso agrícola, reuso industrial, disposição em aterro sanitário, incineração, transformação em óleo combustível, recuperação de solos e áreas degradadas, “*landfarming*” (degradação biológica do lodo de esgoto em camada superior de solo) e a disposição oceânica (TSUTIYA, 2000).

Nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, a alternativa da disposição oceânica do lodo de esgoto foi proibida (FERNANDES; SILVA, 1999). Quanto às alternativas de incineração, disposição em aterros e uso de “*landfarming*” só devem ser aceitas quando não se consegue valorizar o uso do lodo de esgoto, seja porque este se apresenta contaminado ou porque não existam culturas em áreas próximas às ETEs nas quais possa ser aplicado (FERNANDES et al., 2001).

Uma possibilidade para reverter este cenário é o uso agrícola do lodo de esgoto transformado pelo processo de compostagem, desde que atendidas às recomendações do CONAMA nas suas Resoluções nº 375/2006 e 481/2017

(BRASIL, 2006, 2017), dando-se ênfase ao controle de qualidade com relação aos patógenos e metais pesados.

Com o mesmo rigor devem ser seguidas as Instruções Normativas do MAPA sob nº 27/2006, 35/2006 (BRASIL, 2006a, b), nº 25/2009 (BRASIL, 2009) e nº 05/2016 (BRASIL, 2016), permitindo a utilização agrícola do material compostado como fertilizante, condicionador de solo ou, ainda, como substrato.

Por compostagem entende-se a decomposição de resíduos orgânicos, ocasionada por microrganismos e que na presença de oxigênio, em condições controladas de temperatura e umidade, se transformam em material orgânico homogêneo, livre de microrganismos patogênicos (ANDREOLI et al., 2014).

Existem diversos métodos de compostagem: leiras revolvidas, leiras estáticas com aeração forçada, sistemas fechados e leiras estáticas com aeração passiva (INÁCIO, 2009).

Vale ressaltar que a escolha do método de compostagem, por si só, possui grande relevância econômica e logística, pois implica em resultados produtivos e econômicos distintos, devido ao grande número de variáveis envolvidas na sua definição, tais como: área disponível para compostagem, localização e proximidade com áreas urbanas e residenciais, quantidade produzida e tipo de lodo de esgoto, disponibilidade de material estruturante, custos dos equipamentos e distância das culturas que receberão o fertilizante orgânico (INÁCIO, 2009).

Portanto, um projeto de compostagem, além de ser viável sanitária e ambientalmente, necessita de planejamento e análise detalhada de todos os parâmetros para que sejam escolhidas as alternativas que também proporcionem vantagens econômicas.

### **2.3 Avaliação econômica de projetos**

A avaliação econômica de projetos envolve premissas, métodos e técnicas que possibilitam a escolha entre alternativas de projetos tecnicamente viáveis, expressando essa diferença em termos de valores (HESS et al., 1992). Segundo o mesmo autor as premissas devem ser adotadas antes de se proceder à análise econômica, tais como a previsão de investimento para o período zero, a não ocorrência de inflação e de imposto de renda no fluxo de valores estudado.

A implantação de um projeto deve, quando aplicável, considerar além da avaliação pelo critério econômico, que trata da rentabilidade do investimento, também o critério financeiro, que aborda a disponibilidade de recursos e, por fim, o critério imponderável, que avalia os fatores não conversíveis em dinheiro. (CASAROTTO e KOPITTKKE, 2010).

A orçamentação de custos e receitas em um ano de operação possibilita avaliar a participação de cada item do processo em um determinado instante, mas a utilização do fluxo de caixa (diferença entre benefícios e investimentos ano a ano) é o método que permite visualizar o impacto destes valores no tempo, pois considera a vida útil do projeto e o custo do capital ou taxa mínima de atratividade (TMA) aplicada aos investimentos, custos e receitas.

A análise econômica permite a avaliação dos gastos feitos a partir do investimento inicial e com a operação e manutenção do processo e também das receitas obtidas durante a vida útil do projeto, através da construção do fluxo de caixa, tomando-se todos estes valores descontados à TMA.

Do fluxo de caixa é possível calcular os indicadores de viabilidade que norteiam as decisões econômicas (LINDEMEYER, 2008). Dentre os indicadores com os quais se avalia a rentabilidade de projetos, destacam-se o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), o *payback* descontado (PBD) ou tempo de retorno do capital e a relação benefício-custo (BUARQUE, 2004).

### 2.3.1 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A TMA pode ser definida conforme a empresa ou o projeto que se está avaliando ou ainda, no Brasil, pode ser estimada com base em taxas de juros que são praticadas pelo mercado, tais como:

- TBF – Taxa Básica Financeira;
- TR – Taxa Referencial;
- TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo;
- SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia.

A taxa aplicada ao projeto representa o que se deixa de ganhar pela não aplicação do capital a ser investido em uma alternativa disponível no mercado (FARO, 1979).

Como não há fórmula para calcular esta taxa e pelo impacto nos cálculos e resultados dos indicadores que levarão à decisão, a sua escolha deve estar fundamentada também na importância do projeto quanto aos aspectos econômico, ambiental, social, dentre outros.

### 2.3.2 Valor presente líquido (VPL)

O VPL, de acordo com Silva et al. (2005), é a diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos investimentos e custos. O projeto é considerado viável se o fluxo esperado das receitas for superior ao das despesas, ou seja, o VPL deve ser maior do que zero.

A principal característica do VPL é o desconto para o tempo presente dos valores do fluxo de caixa, satisfazendo a condição básica segundo a qual as alternativas avaliadas devem ser comparadas somente se os resultados monetários forem medidos em um ponto comum no tempo (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Segundo os mesmos autores, a definição da taxa de desconto ou TMA, para uso do método do VPL, pode tornar a avaliação sensível, especialmente em projetos de longo prazo. Ainda assim, havendo critérios bem definidos na escolha da TMA, o VPL é um dos melhores métodos de análise econômica.

### 2.3.3 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos investimentos e custos, ou seja, iguala o VPL a zero. A TIR também pode ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido (SILVA et al., 2005).

O projeto é considerado viável, em relação à TIR, quando esta for superior à taxa mínima de atratividade do projeto. Na comparação entre projetos com mesma duração, é melhor aquele que apresentar a maior TIR.

### 2.3.4 *Payback* descontado (PBD)

O PBD é utilizado para cálculo do período de tempo necessário para recuperação do capital investido, aplicando-se uma TMA como desconto na atualização do fluxo de caixa do projeto (GITMAN, 2003).

Para que um projeto seja avaliado por meio deste indicador, compara-se o resultado obtido com o período máximo estabelecido pelo gestor do projeto. Caso não haja um período máximo definido a priori, a análise deste indicador também revela que quanto maior o tempo para se recuperar o capital investido, maior o risco do projeto (GUIDUCCI et al., 2012).

Ressalva-se que o PBD é comumente utilizado como auxiliar na tomada de decisão, pois não contempla os fluxos de caixa após o período de recuperação do capital investido, podendo, portanto, levar à escolha de um projeto que tenha prazo de retorno menor, abrindo-se mão de um com período de retorno mais longo, mas que tenha um VPL maior (CASAROTTO e KOPITTKKE, 2010).

### 2.3.5 Razão benefício custo (B/C)

O critério da razão B/C, quociente adimensional, estabelece a relação entre o valor atual das receitas e o valor atual dos custos. Quando esta razão exceder a unidade, o projeto será economicamente interessante e será tanto mais atrativo, quanto mais a razão exceder a um (FARO, 1979).

De forma geral, conforme Rezende e Oliveira (2001), quando a razão  $B/C > 1$ , o VPL é maior do que 0 e a TIR é maior do que a TMA do projeto, indicando que o projeto deve ser considerado como atrativo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para se avaliar economicamente o processo de compostagem foram necessárias informações de campo que tiveram origem numa parceria entre Unesp, Sabesp e Fapesp ocorrida entre nov/2015 e out/2018 na qual se estudou a obtenção de fertilizante orgânico a partir da compostagem de lodo de esgoto produzido na ETE Lageado - Botucatu, misturado a dois tipos de material estruturante: bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto.

Também foi avaliada a necessidade de fertilizante orgânico produzido na ETE Lageado para a cultura de milho, tanto para o município de Botucatu como para os municípios que se encontram num raio de 50 km a partir de Botucatu.

Para esta análise, considerou-se a quantidade produzida de fertilizante orgânico, a área plantada de milho e o valor do frete como fatores limitantes.

A obtenção dos parâmetros necessários ao processo de compostagem e à análise econômica exigiu, além da observação de campo, que fossem estabelecidos pressupostos, tais como: os MEs utilizados e o mercado consumidor deste fertilizante orgânico, viabilizando todas as etapas deste estudo.

#### 3.1 Fonte de dados

A obtenção dos dados e construção das informações se deu em três fases:

1ª fase: Levantamento dos valores de aquisição e montagem de equipamentos, instalações e insumos e também acompanhamento do processo de compostagem (operações manuais e mecanizadas).

As operações manuais e mecanizadas foram cronometradas e os tempos ajustados para um ano de operação; a mesma extrapolação foi feita para os insumos. Estas informações foram inseridas em tabelas para posterior cálculo e identificação dos custos.

2ª fase: Levantamento da informação de produtividade do fertilizante orgânico por tipo de ME (BC e CE) ao final do processo e pesquisa de valor de comercialização para obtenção de receita de venda.

Além disso, com o projeto se evitou o transporte e a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. Os valores de transporte e disposição do lodo de esgoto foram pesquisados e calculados como a economia de custos originada pelo projeto.

As receitas de comercialização e a economia de custos também foram ajustadas para um ano de operação.

3ª fase: Construção do fluxo de caixa e cálculo dos indicadores para avaliação econômica e tomada de decisão.

Todos os dados (tempos, quantidades e valores) foram relacionados e calculados em planilha eletrônica (Excel<sup>®</sup> 2007), sendo base para a geração dos investimentos, custos, receitas e indicadores econômicos para cada um dos MEs utilizados (BC e CE).

### 3.2 Caracterização da área experimental

O objeto de estudo de avaliação econômica da compostagem com lodo de esgoto foi instalado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), administrada pela Sabesp, e que está localizada na Fazenda Experimental Lageado, junto à Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP / Botucatu – SP.

Para realização da compostagem, em terreno previamente nivelado e compactado (Figura 3), foi construída uma estufa (Figura 4) na ETE Lageado, possibilitando o recebimento dos materiais e formação das leiras de compostagem.

**Figura 3 – Compactação e nivelamento do terreno para construção da estufa de compostagem**



A estufa foi construída com 12,8 m de largura, 80 m de comprimento e 6,5 m de altura, tendo estrutura e cobertura metálica que recebeu filme de polietileno com espessura de 150 micras e tratamento contra raios ultravioleta. As laterais também foram fechadas, sendo um dos lados com o mesmo material da cobertura e o outro com tela branca de malha 30% e tratamento contra raios ultravioleta (Figura 4).



**Figura 4 – Estufa para compostagem**



Houve necessidade de acumular o lodo de esgoto à medida que este era produzido na ETE, de modo a otimizar o processo de compostagem como, por exemplo, nas operações mecanizadas para montagem e revolvimento das leiras. Foi utilizada, para esta finalidade, como depósito de lodo, uma baia com piso concretado (Figura 5) que, apesar de já existir na ETE Lageado, teve seu custo incorporado à análise econômica.

**Figura 5 – Baia com piso concretado para depósito de lodo de esgoto**



### **3.3 Delineamento experimental**

O delineamento experimental adotado, relativo às leiras de compostagem, foi inteiramente casualizado, composto por dois tratamentos: um com BC e outro com CE e três repetições em cada um deles. Cada parcela tinha 9,0 m de comprimento,

3,0 m de largura e 1,5 m de altura, totalizando o volume de 20 m<sup>3</sup> por parcela e 60 m<sup>3</sup> por tratamento.

A extrapolação dos dados observados no experimento possibilitou a inclusão e avaliação de vários parâmetros do processo de compostagem dando maior robustez à análise econômica. Assim, por exemplo, para que fosse dada plena utilização à estufa, os dados colhidos foram projetados para montagem de três leiras de 80 m de comprimento cada uma, ocupando assim toda a área da estufa.

### 3.4 Matéria-prima

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi o lodo digerido de reatores anaeróbicos de fluxo ascendente (RAFA) produzido na ETE Lageado, com 80% de umidade, ao qual se agregaram distintas fontes de carbono: bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto na proporção volumétrica de 1:1, ou seja, uma parte de lodo de esgoto e uma parte de ME, que fornece carbono à mistura.

Esta proporção volumétrica levou à utilização de 90 m<sup>3</sup> de lodo de esgoto e também 90 m<sup>3</sup> de ME por leira de compostagem. Portanto, montando-se três leiras, que é a capacidade total da estufa, utilizou-se 270 m<sup>3</sup> de lodo e 270 m<sup>3</sup> de ME a cada ciclo de compostagem.

Cada fonte de carbono (ME) utilizada foi tratada como um projeto específico devido às diferenças de custo e produtividade de cada um destes materiais no processo de compostagem (Figura 6).

**Figura 6 – A: Bagaço de cana-de-açúcar; B: Casca de eucalipto**



Os materiais ricos em carbono foram escolhidos, sob o ponto de vista logístico e econômico, em função da disponibilidade e sazonalidade na região de Botucatu e do custo de cada um deles, dando-se preferência por resíduos da agroindústria regional.

### 3.5 Máquinas e equipamentos

A principal máquina, tanto em funcionalidade como em valor investido, foi a compostadora. Com a aquisição de um trator, um kit de elevação mecânica e compostador de resíduos (Figura 7) montou-se, na fazenda da FCA / Unesp (Figura 8), a máquina compostadora (Figura 9), utilizada para o revolvimento das leiras.

**Figura 7 – Kit de elevação mecânica e compostador de resíduos**



**Figura 8 – Montagem da máquina compostadora**





**Figura 9 – Máquina compostadora**

O consumo de combustível da operação de compostagem foi medido a partir de dois fluxômetros instalados no sistema de alimentação do trator. A diferença entre as medidas de entrada e retorno de combustível durante o tempo de operação da máquina compostadora, possibilitou o cálculo do consumo horário de combustível para o revolvimento das leiras (DENADAI, 2014).

Os demais equipamentos utilizados na compostagem apresentaram menor participação nos investimentos, mas foram de igual importância para controle do processo de compostagem, sendo estes: termômetros, balança e equipamentos de proteção individual (EPI).

Alguns equipamentos como retroescavadeira e caminhão basculante, de propriedade da Unesp, foram utilizados na movimentação dos materiais e os custos destas atividades foram considerados custo operacional. Adotou-se nesta análise, o valor de aluguel destes equipamentos na cidade de Botucatu, pois, diferente da máquina compostadora, são equipamentos que não possuem nenhuma característica específica que atenda apenas ao projeto de compostagem. O mesmo ocorreu com o uso de uma “bobcat” que foi alugada para reestruturar as leiras após a montagem destas, deixando-as com dimensões adequadas para o revolvimento com a máquina compostadora.

### 3.6 Processo de compostagem

O processo de compostagem foi o mesmo para ambos os MEs estudados: bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto.

A produção do lodo de esgoto não foi alvo da avaliação econômica estudada, mas sim a sua movimentação desde a ETE, onde era depositado em caçambas (Figura 10) até à baía que funcionou como depósito de lodo. Estas atividades geraram custos e o depósito na baía permitiu acúmulo suficiente de lodo de esgoto a ser misturado com o auxílio de retroescavadeira e caminhão basculante na proporção volumétrica de 1:1 (uma parte de lodo de esgoto e uma parte de ME). A caçamba do carregador frontal da retroescavadeira funcionou como medida para o cálculo da proporção volumétrica utilizada na mistura dos materiais.

**Figura 10 – Lodo de esgoto depositado em caçamba na ETE**



Fonte: <http://helenamazotti.blogspot.com/2010/>

Os MEs foram adquiridos em empresas da região, transportados e descarregados no pátio próximo à estufa. À medida da necessidade de composição das leiras de compostagem o ME e o lodo eram colocados em caminhão basculante, com auxílio de retroescavadeira (Figura 11) e dispostos na estufa (Figura 12).

**Figura 11 – Operação com retroescavadeira e caminhão basculante para montagem das leiras de compostagem**



**Figura 12 – Uso de caminhão basculante para formar as leiras de compostagem na estufa**



Uma vez tendo disposto a mistura de lodo de esgoto e ME na estufa, foram coletados dados de temperatura com sensores inseridos no centro das leiras e acoplados a um *dataloguer* que armazenava os dados gerados a cada hora. A cada revolvimento os sensores eram retirados para passagem da compostadora (Figura 13).

**Figura 13 – Medição de temperatura com sensores acoplados a *dataloguer***



Os parâmetros de temperatura e também de umidade foram coletados durante todo o processo, pois foram referências para que as leiras fossem revolvidas (Figura 14).

**Figura 14 – Leiras de compostagem sendo revolvidas com a máquina compostadora**



A periodicidade de revolvimento das leiras foi de aproximadamente 14 vezes por ciclo de 2 meses de compostagem. Este tempo de compostagem foi definido como o ciclo ideal, pois garantiu que a temperatura atingisse e permanecesse em 55°C por pelo menos 14 dias, eliminando, assim, possíveis patógenos presentes no lodo de esgoto, homogeneizando o material e atendendo a legislação vigente (BRASIL, 2017).

Outras operações que demandaram horas de máquinas e de pessoas, tais como: limpeza da área, recomposição das leiras, coleta de temperatura e umidade



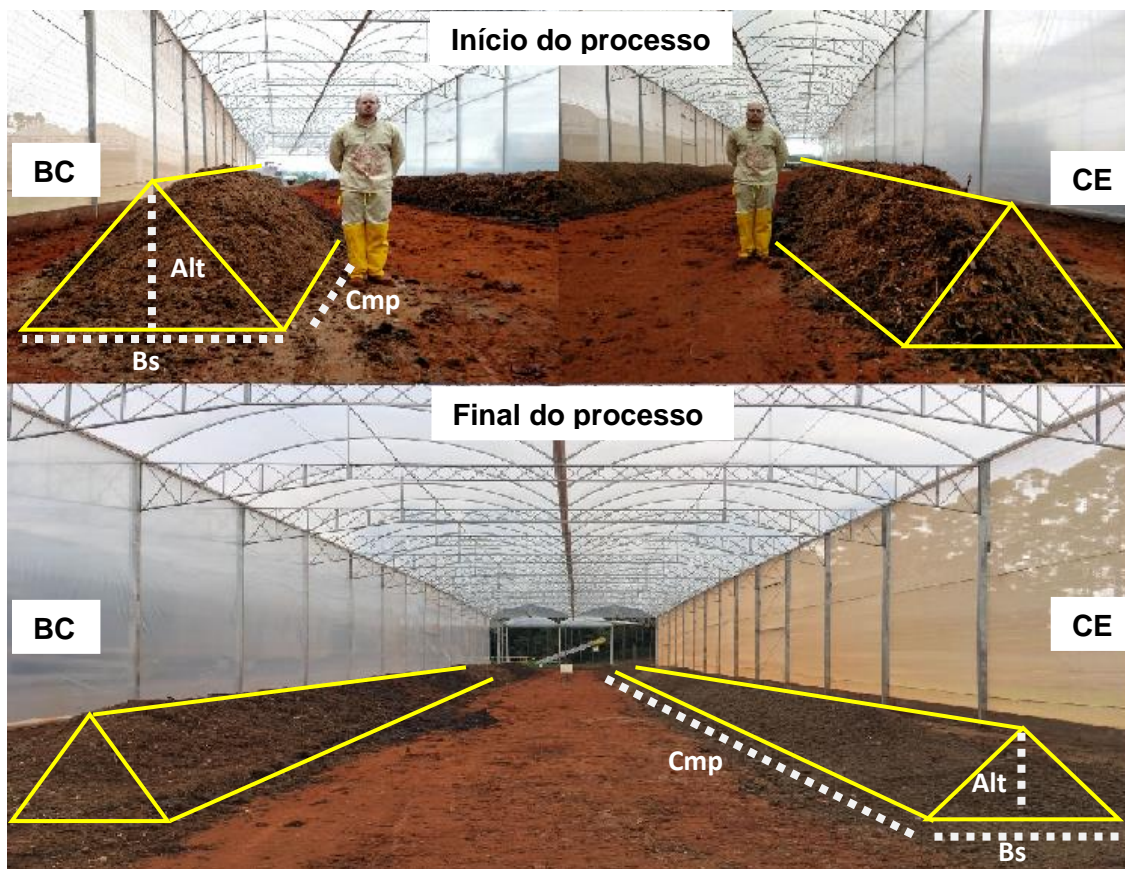
(indicadores de controle de qualidade do processo) foram quantificadas e relacionadas nos custos operacionais.

### 3.6.1 Produtividade do processo por material estruturante (ME)

A quantidade produzida de fertilizante orgânico foi fortemente afetada pelo tipo e característica dos MEs e do próprio lodo de esgoto utilizados na compostagem. Como quase todo material residual, o ME utilizado (BC ou CE), específico deste projeto, também não apresentou uniformidade rigorosa na forma e tamanho levando a quantidades variáveis de fertilizante orgânico produzido.

O tamanho e forma das leiras no início e final do processo foram diferentes, mas em ambos os casos formaram figuras geométricas que permitiram o cálculo do volume (Figura 15).

**Figura 15 – Leiras de compostagem no início e final do processo**



Alt = altura Bs = base Cmp = comprimento



Quando da montagem das leiras e também ao revolvê-las, as pás da máquina compostadora movimentam o material deixando as leiras com formas triangulares, possibilitando a melhor mistura dos materiais a cada revolvimento e obtendo-se um bom resultado da compostagem.

A forma da leira tem relação direta com o processo de compostagem, pois leiras altas aquecem demais, leiras baixas perdem muito calor e se estreitas perdem umidade e calor (ESALQ/USP, 2012).

Inicialmente, cada leira foi montada à semelhança de um triângulo com 3,0 m de base, 1,5 m de altura e 80,0 m de comprimento, como leiras que são montadas em escala comercial. O volume foi calculado pela fórmula matemática (1):

$$Vol = \left[ \frac{Bs \times Alt}{2} \right] \times Cmp \quad (1)$$

Onde:

Vol = Volume da leira (m<sup>3</sup>)

Bs = Base da leira (m)

Alt = Altura da leira (m)

Cmp = comprimento da leira ( m)

Ao final da compostagem as leiras mantinham a mesma forma, mas as medidas variaram em função das alterações químicas, físicas e biológicas que ocorreram na mistura, decorrentes do próprio processo de compostagem.

O método de cálculo foi o mesmo para ambos os MEs. Foram tomadas as medidas (base, altura e comprimento) de cada leira, no início e no final de cada ciclo. A produtividade foi obtida pelo quociente dos volumes obtidos nas medições (volume final / volume inicial) por ME.

Esta medição e cálculo foram repetidos em todos os ciclos estudados neste projeto e permitiu a obtenção de uma produtividade média para cada ME utilizado.

### 3.7 Preço do fertilizante orgânico

O preço de comercialização adotado para o fertilizante orgânico (R\$85,00 / t – base: dez/2017) teve como referência o preço do fertilizante produzido numa planta de compostagem comercial localizada no município de Jundiaí – SP. As práticas de compostagem lá adotadas são similares às deste projeto que também apresenta

dimensões comerciais, e o preço se destina ao produto retirado no local de produção.

Salienta-se que este projeto não teve como objetivo avaliar economicamente as diversas vantagens do produto final que pode ser utilizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo ou, ainda, como substrato.

Portanto, ao se utilizar o preço que já vem sendo praticado, assume-se que este valor é percebido como adequado pelo comprador, pois este se dispõe a pagá-lo em detrimento de outro tipo de produto com a mesma finalidade.

### **3.8 Avaliação econômica do processo de compostagem**

Pelas características próprias deste projeto, a avaliação econômica se deu com muitos dos parâmetros fundamentais ao processo de compostagem já estabelecidos: tipo de máquina compostadora, dimensões da estufa, tipo de ME. Buscou-se, portanto, estudar estes parâmetros, suas interações e consequências na viabilidade econômica do projeto ou na rentabilidade do investimento, sem se avaliar alternativas para tais parâmetros.

Pelo critério financeiro, o valor investido não foi tido como um fator de escassez, pois havia recurso já destinado ao projeto quando deste estudo.

Também, o critério imponderável não foi considerado neste estudo como, por exemplo, a desvalorização imobiliária no entorno de um aterro sanitário ou o impacto dos gases liberados no transporte do lodo de esgoto até o aterro sanitário.

#### **3.8.1 Investimento inicial do projeto**

O investimento inicial no projeto foi de R\$ 519.000,00 (base dez/2017), referente a:

Trator Massey Ferguson 4299 4 X 4 – 2000 rpm	R\$ 148.928,00
Compostadora Astral	R\$ 194.048,00
Estufa para compostagem	R\$ 146.906,00
Baia para estoque do lodo de esgoto	R\$ 24.490,00
Equipamentos de laboratório e de segurança	R\$ 6.598,00

A estufa foi montada junto à ETE Lageado, em terreno da Sabesp. Não houve, portanto, investimento em terreno e esta característica tende a se repetir nas demais ETEs pertencentes à Sabesp no estado São Paulo.

### 3.8.2 Vida útil do projeto, equipamentos e instalações

A vida útil dos projetos foi estimada em 20 anos, sendo a mesma vida útil do trator e da estufa. Apenas o equipamento de compostagem, acoplado ao trator, teve vida útil estimada em 10 anos devido ao contato direto com elementos da mistura do lodo de esgoto com o material estruturante que podem acelerar seu desgaste.

### 3.8.3 Atualização de valores e taxa mínima de atratividade (TMA)

Os equipamentos, instalações e insumos foram sendo adquiridos, montados e instalados desde o final do ano de 2015 até meados do ano de 2017. Portanto, para uniformizar os investimentos do projeto e permitir a avaliação econômica, os valores foram corrigidos para dezembro de 2017 pelo IGP-M (IPEA, 2018).

A mesma correção foi aplicada à receita originada pela produção do fertilizante orgânico. Assim, tanto o preço de venda do fertilizante orgânico, como os valores de transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário, que deixaram de ocorrer na situação com a compostagem, foram atualizados para dezembro de 2017.

O combustível utilizado na máquina compostadora teve o valor atualizado para dezembro de 2017 conforme Sistema de Levantamento de Preços (ANP, 2018).

Quanto à TMA, optou-se por utilizar a mesma taxa que a Sabesp aplicava em suas avaliações econômicas de projetos em 2017 (8,06% ao ano).

### 3.8.4 Custos

Os custos estiveram relacionados à operação e aos insumos, sendo eles: reparo e manutenção, matéria-prima, transporte, combustíveis, graxas e lubrificantes, operações manuais e mecanizadas, conforme, respectivas fórmulas matemáticas:

#### a) Reparos e manutenção

Este custo foi calculado pela fórmula matemática (2):

$$RM = (Vi \times Trm) \quad (2)$$

Onde:

RM = Reparos e manutenção (R\$/ano)

Vi = Valor inicial ou de aquisição

Trm = % referente a reparos e manutenção

b) Matéria-prima (3) e (4):

$$MP = (Qle \times PMle) + (QBC \times PBC) \quad (3)$$

$$MP = (Qle \times PMle) + (QCE \times PCE) \quad (4)$$

Onde:

MP = Matéria-prima (R\$/ano)

Qle = Quantidade de lodo de esgoto (m<sup>3</sup>/ano)

PMle = Preço da movimentação do lodo de esgoto (R\$ m<sup>-3</sup>) <sup>(a)</sup>

QBC = Quantidade de BC (m<sup>3</sup>/ano)

PBC = Preço de BC (R\$ m<sup>-3</sup>) <sup>(b)</sup>

QCE = Quantidade de CE (m<sup>3</sup>/ano)

PCE = Preço de CE (R\$ m<sup>-3</sup>) <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> – Refere-se apenas ao transporte entre a ETE e a estufa

<sup>(b)</sup> – Inclui o transporte do material

c) Operações manuais (5):

$$OMn = Qhh \times Phh \quad (5)$$

Onde:

OMn= Operações manuais (R\$/ano)

Qhh = Quantidade de homem hora (hh/ano)

Phh = Preço de homem hora (R\$ hh<sup>-1</sup>)

d) Operações mecanizadas terceirizadas (6):

$$OMc = Qhh \times Phh \quad (6)$$

Onde:

OMc = Operações mecanizadas (R\$/ano)

Qhh = Quantidade de hora máquina (hm/ano)

Phh = Preço de hora máquina (R\$ hh<sup>-1</sup>)

e) Combustível <sup>(c)</sup> (7):

$$C = Hu \times Pt \times Ce \times PcD \quad (7)$$

Onde:

C = Combustível (R\$/ano)

Hu = Horas de uso (ano)

Pt = Potência (hp) (*horse power*)

Ce = Consumo específico (L hp<sup>-1</sup>)

PcD = Preço do diesel (R\$ L<sup>-1</sup>)

<sup>(c)</sup> – Aplica-se à máquina compostadora.

f) Graxas e lubrificantes <sup>(d)</sup> (8):

$$GL = C \times 15\% \quad (8)$$

Onde:

GL = Graxas e lubrificantes (R\$/ano)

C = Combustível (R\$/ano)

<sup>(d)</sup> – Aplica-se ao trator e compostadora.

### 3.9 Receitas

Foram três as fontes de receita do projeto:

- Comercialização do fertilizante orgânico mais a economia de custos com transporte e disposição do lodo em aterro;
- Comercialização do fertilizante orgânico;
- Economia de custos com transporte e disposição do lodo em aterro.

a) A receita total é dada conforme fórmula (9):

$$RT = RC + EC \quad (9)$$

Onde:

RT = Receita total (R\$/ano)

RC = Receita de comercialização do fertilizante orgânico (R\$/ano)

EC = Economia com os custos de transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário (R\$/ano)

## b) Comercialização do fertilizante orgânico

A receita de comercialização teve seu resultado alterado em função da produtividade de cada um dos MEs utilizados, mas o seu cálculo se deu segundo a mesma fórmula (10)

$$RC = Qp \times Pc \quad (10)$$

Onde:

RC = Receita de comercialização (R\$/ano)

Qp = Quantidade produzida (m<sup>3</sup>/ano)

Pc = Preço de comercialização (R\$ m<sup>-3</sup>)

## c) Economia de custos

Ao se utilizar o lodo de esgoto no projeto de compostagem, deixou-se de incorrer nos custos de transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. O cálculo se deu segundo a fórmula (11):

$$EC = (Qle \times Pt) + (Qle \times Pd) \quad (11)$$

Onde:

EC = Economia de custos (R\$/ano)

Qle = Quantidade de lodo de esgoto em base úmida (m<sup>3</sup> ano)

Pt = Preço do transporte (R\$ m<sup>-3</sup>)

Pd = Preço de disposição em aterro (R\$ m<sup>-3</sup>)

### 3.10 Indicadores de viabilidade econômica

Os indicadores de viabilidade econômica foram obtidos a partir da construção de seis fluxos de caixa: dois tipos de ME e três fontes de receita, aplicando-se a estes as respectivas fórmulas matemáticas.

## a) VPL – Valor presente líquido

O seu valor é obtido pela seguinte expressão matemática (12):

$$VPL = \sum_{t=0}^n R_t (1 + i)^{-t} - \sum_{t=0}^n C_t (1 + i)^{-t} \quad (12)$$

Onde:

R<sub>t</sub> = receita no período t

C<sub>t</sub> = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto

i = taxa de juros ou taxa de mínima atratividade

b) TIR – Taxa interna de retorno

Sua fórmula é dada por (13):

$$\sum_{t=0}^n R_t (1 + TIR)^{-t} = \sum_{t=0}^n C_t (1 + TIR)^{-t} \quad (13)$$

Onde:

$R_t$  = receita no período t

$C_t$  = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto (ano)

c) PBD – *Payback* descontado

Calculado pela fórmula (14):

$$PBD = t + \frac{FCA_t}{(FCA_t - FCA_{t+1})} \quad (14)$$

Onde:

t = período imediatamente antes do período em que o fluxo de caixa descontado passa de negativo a positivo

$FCA_t$  = fluxo de caixa acumulado no período t

$FCA_{t+1}$  = fluxo de caixa acumulado no período t+1

d) B/C – Razão benefício custo

Calculada conforme a fórmula (15):

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n R_t (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_t (1+i)^{-t}} \quad (15)$$

Onde:

$R_t$  = receita no período t

$C_t$  = custo no período t

t = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ... n)

n = número máximo de períodos de duração do projeto (ano)

i = taxa de juros ou taxa de mínima atratividade

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos de 2016 e 2017 na ETE Lageado Botucatu, segundo medição feita como parte deste estudo, foram gerados 3 mil m<sup>3</sup>/ano de lodo de esgoto. O lodo era, até então, transportado e disposto no aterro de Paulínia - SP, localizado a aproximadamente 170 km da ETE Lageado.

O produto obtido no processo de compostagem, sem nenhum tipo de peneiramento, foi enquadrado, segundo o MAPA, como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D, apto para uso agrícola, segundo o MAPA (BRASIL, 2009) e aqui chamado de fertilizante orgânico.

### 4.1 Parâmetros operacionais

A transformação do lodo de esgoto em fertilizante orgânico se deu mediante a utilização de parâmetros operacionais que determinaram a capacidade da operação e que independeram do tipo de ME utilizado (Tabela 2).

**Tabela 2 – Parâmetros operacionais do processo de compostagem**

Item	Quantidade
Nº de estufas	1
Nº de máquinas compostadoras	1
Nº de meses por ciclo de compostagem	2
Nº de ciclos por ano	6
Nº de leiras por ciclo	3
Nº de revolvimentos por mês	7
Nº de coleta de dados (temperatura e umidade) por mês	7
Nº de horas por revolvimento	1
Nº de horas para coleta de dados	1
Produção de lodo úmido (caçambas por dia)	3
Produção de lodo úmido (m <sup>3</sup> /dia)	9
Produção de lodo úmido (m <sup>3</sup> /mês)	270
Produção de lodo úmido (m <sup>3</sup> /ano)	3.240



Os coeficientes utilizados no processo de compostagem e que deram origem aos investimentos e custos são demonstrados nos Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 - Coeficientes para cálculo dos investimentos e custos do processo de compostagem – (A)**

Coeficiente	Unidade	Trator	Máquina Compostadora	Estufa e baia para o estoque do lodo de esgoto
Valor de aquisição (base: dez/2017)	R\$	148.928	194.048	171.396
Valor residual	R\$	29.785	9.702	8.569
Vida útil dos equipamentos e instalações	Ano	20	10	20
Taxa de reparos e manutenção	%	2,0	2,0	2,0
Uso de máquina compostadora	h/ano		84	
Consumo de combustível	L hp <sup>-1</sup>	0,166	0,166	
Preço do diesel	R\$ L <sup>-1</sup>	3,29		
Potência	Hp	128,2	128,2	
Graxas e lubrificantes <sup>(1)</sup>	%	15		

<sup>(1)</sup> Percentual aplicado sobre o custo dos combustíveis conforme ASABE, 2011

**Tabela 4 - Coeficientes para cálculo dos investimentos e custos do processo de compostagem (B)**

<b>Coeficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Outros Equipamentos (1)</b>	<b>Geral</b>
Valor de aquisição (base: dez/2017)	R\$	6.598	
Vida útil dos equipamentos	Ano	10	
Vida útil do projeto	Ano		20
Taxa de juros	%		8,06
Número de análises laboratoriais	Qtd		6
Valor de análise laboratorial	R\$		1.024
Quantidade de operações manuais	H		686
Quantidade de operações Mecanizadas	h		342
Valor do homem hora	R\$		7,81
Aluguel da bobcat	R\$ h <sup>-1</sup>		160
Aluguel da pá carregadeira	R\$ h <sup>-1</sup>		90
Valor da hora máquina	R\$		11,72
Valor do BC	R\$ m <sup>-3</sup>		20,50
Valor da CE	R\$ m <sup>-3</sup>		15,50

<sup>(1)</sup> Balança, termômetro, equipamento de segurança individual (EPI).

A quantidade de matéria-prima e o tempo das operações são os mesmos para ambos os MEs. Diferente do fertilizante orgânico obtido que teve sua produtividade variando de acordo com o ME utilizado (Tabela 5).

**Tabela 5 – Matéria-prima utilizada e produção de fertilizante orgânico**

ME	Unidade	Quantidade
<b>Bagaço de cana-de-açúcar (BC)</b>		
• Insumo		
Lodo de esgoto	m <sup>3</sup> /ano	1.620
BC	m <sup>3</sup> /ano	1.620
• Produto		
Fertilizante orgânico (45% de produtividade)	m <sup>3</sup> /ano	1.458
<b>Casca de eucalipto (CE)</b>		
• Insumo		
Lodo de esgoto	m <sup>3</sup> /ano	1.620
CE	m <sup>3</sup> /ano	1.620
• Produto		
Fertilizante orgânico (35% de produtividade)	m <sup>3</sup> /ano	1.134

A partir da produção e com dados de pesquisa se obteve os coeficientes utilizados no cálculo das receitas originadas no projeto (Tabela 6).

**Tabela 6 - Coeficientes de cálculo das receitas para um ano de operação de compostagem**

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor
<b>Receita de comercialização</b>			
Fertilizante orgânico com BC	m <sup>3</sup>	1.458	
Fertilizante orgânico com CE	m <sup>3</sup>	1.134	
Preço de venda do fertilizante orgânico	R\$ m <sup>-3</sup>		85
<b>Economia de custos</b>			
Lodo de esgoto	m <sup>3</sup>	1.620	
Valor do transporte do lodo até aterro de Paulínia	R\$ m <sup>-3</sup>		160
Valor de disposição do lodo no aterro de Paulínia	R\$ m <sup>-3</sup>		122

Um primeiro resultado já se verifica pela observação das Tabelas 4 e 5, pois a produtividade com uso de cada uma das alternativas de ME apresentou significativa

diferença. Enquanto a compostagem com o BC rendeu 45%, o uso da CE gerou 35% de produtividade.

É importante ressaltar, no entanto, que apesar da maior produtividade do BC, o preço deste insumo por m<sup>3</sup> é de R\$20,50, sendo 32% superior ao preço do m<sup>3</sup> da CE (R\$15,50) (Tabela 4).

#### 4.2 Operações manuais e mecanizadas da compostagem

As operações do processo de compostagem foram acompanhadas, quantificados e agrupadas em operações manuais e mecanizadas (Tabelas 7 e 8).

**Tabela 7 – Operações manuais realizadas no processo de compostagem**

Item	Quantidade (h/ano)
<b>1. Recebimento do material</b>	
Lodo de esgoto	180
ME (BC ou CE)	122
<b>2. Preparo da área e matéria-prima</b>	
Limpeza da área	96
Mistura do lodo com MEs e montagem das leiras	144
Coleta de temperatura e umidade	84
Quantificação do fertilizante orgânico	12
Testes (análise química e física)	48
<b>Total</b>	<b>686</b>

**Tabela 8 – Operações mecanizadas realizadas no processo de compostagem**

Item	Quantidade (h/ano)
<b>1. Recebimento do lodo e ME</b>	
Movimentação do lodo de esgoto (ETE – estufa)	(1)
Transporte do ME (BC ou CE)	(1)
<b>2. Preparo da área e matéria-prima</b>	
Limpeza da área	96
Mistura do lodo com MEs e montagem das leiras	72
Disposição do lodo + ME na estufa	72
Ajuste das leiras	6
<b>3. Compostagem</b>	
Revolvimento	84
Quantificação do fertilizante orgânico	12
<b>Total</b>	<b>342</b>

(1) Executado por terceiros e apontado nos custos, mas sem apontamento do tempo.

### 4.3 Receitas

As receitas também foram calculadas pelos coeficientes de quantidades e valores obtidos para cada um dos MEs utilizados na compostagem (Tabela 9).

**Tabela 9 – Receita obtida com o processo de compostagem**

Item	BC (R\$/ano)	CE (R\$/ano)
Receita de comercialização do fertilizante orgânico	123.930	96.390
Economia de custos com o projeto	456.840	456.840
Eliminação do transporte de lodo até o aterro	259.200	259.200
Eliminação da disposição do lodo em aterro	197.640	197.640
<b>Receita Total</b>	<b>580.770</b>	<b>553.230</b>

### 4.4 Fluxo de caixa e indicadores econômicos

Até aqui as demonstrações abordaram a projeção de um ano de operação do projeto, sem considerar os valores no tempo.

Para que este aspecto fosse incluído na análise econômica, lançamos mão dos fluxos de caixa, num período de 20 anos, descontados à taxa de 8,06% ao ano. Estes fluxos foram construídos para cada um dos MEs utilizados na compostagem (BC e CE), como se cada um dos MEs fosse um projeto distinto.

Além da alternativa dos MEs, as receitas também variaram em função das combinações de suas origens: receita de comercialização do fertilizante orgânico, economia de custos com o projeto (eliminação do transporte e disposição no aterro) e receita de comercialização mais a economia de custos. Para melhor identificação da combinação destes parâmetros, cada uma delas está relacionada na Tabela 10.

**Tabela 10 – Tipo de ME e origem da receita para composição dos fluxos de caixa e cálculo dos indicadores econômicos**

Combinação	ME	Origem da receita
A	BC	Comercialização do fertilizante orgânico
B	BC	Economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
C	BC	Comercialização do fertilizante orgânico e economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
D	CE	Comercialização do fertilizante orgânico
E	CE	Economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário
F	CE	Comercialização do fertilizante orgânico e economia de custo de transporte e disposição do lodo em aterro sanitário

As Tabelas 11 a 13 mostram os fluxos de caixa com o uso do BC e as Tabelas 14 a 16, apresentam os fluxos de caixa com o uso de CE.

**Tabela 11 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico (combinação A)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>143.978</b>	<b>333.856</b>	<b>143.978</b>	<b>101.453</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa <sup>(a)</sup>	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6,599	1.066	6,599
<b>Custo Operacional</b>		<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	58.917	58.917
Matéria-prima		68.352	68.352	68.352	68.352
<b>Receita</b>		<b>123.930</b>	<b>123.930</b>	<b>123.930</b>	<b>123.930</b>
Comercialização do fertilizante orgânico		123.930	123.930	123.930	123.930
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>-20.048</b>	<b>-209.926</b>	<b>-20.048</b>	<b>22.477</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.

**Tabela 12 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Economia de custos (combinação B)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>143.978</b>	<b>333.856</b>	<b>143.978</b>	<b>101.453</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa <sup>(a)</sup>	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6,599	1.066	6,599
<b>Custo Operacional</b>		<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	58.917	58.917
Matéria-prima		68.352	68.352	68.352	68.352
<b>Receita</b>		<b>456.840</b>	<b>456.840</b>	<b>456.840</b>	<b>456.840</b>
Economia de custos		456.840	456.840	456.840	456.840
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>312.862</b>	<b>122.984</b>	<b>312.862</b>	<b>355.387</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.

**Tabela 13 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: bagaço de cana-de-açúcar. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico e Economia de custos (combinação C)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>143.978</b>	<b>333.856</b>	<b>143.978</b>	<b>101.453</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa <sup>(a)</sup>	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6.599	1.066	6.599
<b>Custo Operacional</b>		<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>	<b>132.624</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	58.917	58.917
Matéria-prima		68.352	68.352	68.352	68.352
<b>Receita</b>		<b>580.770</b>	<b>580.770</b>	<b>580.770</b>	<b>580.770</b>
Comercialização do fertilizante orgânico		123.930	123.930	123.930	123.930
Economia de custos		456.840	456.840	456.840	456.840
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>436.792</b>	<b>246.914</b>	<b>436.792</b>	<b>479.317</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.

**Tabela 14 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico (combinação D)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>135.878</b>	<b>325.756</b>	<b>135.878</b>	<b>93.353</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa <sup>(a)</sup>	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6.599	1.066	6.599
<b>Custo Operacional</b>		<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	8.917	58.917
Matéria-prima		60.252	60.252	60.252	60.252
<b>Receita</b>		<b>96.390</b>	<b>96.390</b>	<b>96.390</b>	<b>96.390</b>
Comercialização do fertilizante orgânico		96.390	96.390	96.390	96.390
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>-39.488</b>	<b>-229.366</b>	<b>-39.488</b>	<b>3.037</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.

**Tabela 15 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Economia de custos (combinação E)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>135.878</b>	<b>325.756</b>	<b>135.878</b>	<b>93.353</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa (a)	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6,599	1.066	6,599
<b>Custo Operacional</b>		<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	58.917	58.917
Matéria-prima		60.252	60.252	60.252	60.252
<b>Receita</b>		<b>456.840</b>	<b>456.840</b>	<b>456.840</b>	<b>456.840</b>
Economia de custos		456.840	456.840	456.840	456.840
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>320.962</b>	<b>131.084</b>	<b>320.962</b>	<b>363.487</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.

**Tabela 16 – Fluxo de caixa (em R\$/ano) – ME: casca de eucalipto. Receita: Comercialização do fertilizante orgânico e Economia de custos (combinação F)**

Item	Ano				
	0	1 a 9	10	11 a 19	20
<b>Investimento e Custo Operacional</b>	<b>520.971</b>	<b>135.878</b>	<b>325.756</b>	<b>135.878</b>	<b>93.353</b>
Investimento	520.971	11.353	201.232	11.353	-31.172
Trator <sup>(a)</sup>	148.928	2.979	2.979	2.979	-26.807
Compostadora <sup>(a)</sup>	194.048	3.881	188.227	3.881	-5.821
Estufa (a)	171.397	3.428	3.428	3.428	-5.142
Demais Equipamentos <sup>(b)</sup>	6.599	1.066	6,599	1.066	6,599
<b>Custo Operacional</b>		<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>	<b>124.524</b>
Operação Manual		5.355	5.355	5.355	5.355
Operação Mecanizada <sup>(c)</sup>		58.917	58.917	58.917	58.917
Matéria-prima		60.252	60.252	60.252	60.252
<b>Receita</b>		<b>553.230</b>	<b>553.230</b>	<b>553.230</b>	<b>553.230</b>
Comercialização do fertilizante orgânico		96.390	96.390	96.390	96.390
Economia de custos		456.840	456.840	456.840	456.840
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>-520.971</b>	<b>417.352</b>	<b>227.474</b>	<b>417.352</b>	<b>459.877</b>

<sup>(a)</sup> Investimento inicial, reparos e manutenção.

<sup>(b)</sup> Balança, termômetro, equipamentos de segurança individual.

<sup>(c)</sup> Combustíveis e lubrificantes.



Os indicadores econômicos calculados a partir de cada um dos fluxos de caixa estão compilados na tabela 17.

**Tabela 17 - Indicadores econômicos segundo o tipo de ME e de receita gerada**

Combinação	Valor Presente Líquido (em R\$)	Taxa Interna de Retorno (em %)	<i>Payback descontado</i> (em anos)	Relação B/C
A	-795.369	( a )	( a )	0,60
B	2.458.648	60	1,9	2,23
C	3.669.997	84	1,3	2,83
D	-985.384	( a )	( a )	0,49
E	2.537.821	61	1,8	2,32
F	3.479.982	80	1,4	2,81

(a) O fluxo de valores é negativo, inviabilizando o cálculo da TIR e o tempo de retorno do capital investido.

A análise dos indicadores mostrou que ao se considerar apenas a receita de comercialização, esta não fez frente aos custos, pois o VPL foi negativo tanto com o uso de BC como de CE, não havendo, portanto, TIR e nem *payback*. A relação B/C, como era de se esperar, foi menor do que um, ou seja, os benefícios não superaram os custos, inviabilizando as combinações A e D.

Quando avaliadas as combinações B e E que tratam apenas da economia de custos do projeto ao se utilizar o lodo de esgoto na compostagem, não havendo, portanto, transporte e disposição deste em aterro, o indicador VPL mostrou a viabilidade do projeto, sendo a compostagem com CE 3% melhor do que com BC.

Esta diferença se deve ao fato do preço de aquisição da CE ser menor do que a de aquisição do BC e por não se estar agregando a receita de comercialização. Assim, esta opção demonstrou que, numa hipótese do fertilizante orgânico ser disponibilizado aos produtores sem geração de receita de comercialização, deve-se optar pelo ME que leve ao menor custo para sua aquisição, neste caso, o CE, independente de sua produtividade.

Por fim, quando se consideram todas as possibilidades de receita, ou seja, a receita de comercialização do fertilizante orgânico e a economia de custos ao não se enviar lodo de esgoto para aterro (combinações C e F), obteve-se a alternativa mais atraente economicamente com a utilização do BC (combinação C).

Destacam-se neste último cenário, o VPL que é 5% superior com o uso do BC do que com a CE e a TIR que é 4 pontos percentuais superior à TIR com CE. Já os

indicadores *Payback* e a relação B/C, ainda que mais atrativos com o uso do BC, possuem diferenças menos significativas quando se compara o uso de BC ou CE, mas ainda assim todos os indicadores ratificam o uso de BC.

Nesta situação também se destaca a TIR de 84% com BC e 80% com CE, sendo 20 pontos percentuais superiores à TIR quando se considera apenas a economia de custos com transporte e disposição de lodo de esgoto em aterro sanitário.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 Logística do processo**

A compostagem depende de fatores que extrapolam a operação ora estudada e para que haja sucesso técnico e econômico neste processo devem ser considerados fatores que vão desde as características socioeconômicas dos municípios que geram o lodo de esgoto, quantidade de lodo de esgoto produzido, destino deste resíduo sem a compostagem, até a demanda municipal ou regional pelo fertilizante orgânico produzido.

### **5.2 Características dos municípios**

O Brasil tem 95% dos municípios com menos de 100 mil habitantes, portanto, para viabilizar a estrutura de compostagem deve ser conhecida, não só a produção diária de lodo, bem como o potencial de ampliação da rede de coleta e tratamento de esgotos, caso ainda haja margem para este crescimento no município em estudo. Planejar o local que servirá como pátio ou estufa para compostagem depende deste dimensionamento.

A vocação econômica do(s) município(s) que geram o lodo de esgoto a ser compostado afeta o processo no tocante à qualidade do lodo gerado, além da possibilidade de haver contaminantes químicos de indústrias que levem seus resíduos para o serviço de saneamento, podendo inviabilizar o produto final.

### **5.3 Tipo de tratamento de esgoto**

Existem diversos métodos e etapas pelas quais o esgoto é submetido antes da retirada do lodo para compostagem. Os tipos de tratamento podem determinar a umidade e a qualidade do lodo, indicando o tempo necessário à compostagem, a quantidade de revolvimentos e a quantidade de ME a ser utilizada na mistura.

#### **5.4 Material estruturante (ME)**

Deve ser dada preferência a MEs de descarte como, por exemplo: bagaço de cana-de-açúcar, casca de eucalipto, podas de árvores e que sejam produzidos o mais próximo possível da área de compostagem, evitando-se os altos custos de transporte deste material.

Alguns dos MEs citados como exemplo, podem ser sazonais, mas o lodo de esgoto não é, portanto, para que haja continuidade na compostagem é importante que se tenha mais de uma alternativa de ME disponível para o processo.

#### **5.5 Instalações e equipamentos**

O local de compostagem está diretamente ligado à capacidade de produção de lodo de esgoto. Uma forma de se minimizar os custos ligados à construção de uma estufa de compostagem pode ser o acúmulo de lodo de mais de um município ou de uma ETE. No entanto, a similaridade química e física dos lodos deve ser observada para que o processo seja uniforme.

A identificação da produção mínima diária de lodo de esgoto e o equacionamento deste volume com as dimensões das instalações e capacidade dos equipamentos é tão importante quanto à regularidade desta produção, evitando-se a ociosidade.

O uso pleno da capacidade instalada para produção do fertilizante orgânico e a eficiência do processo, além de se refletirem nos resultados econômicos, impactam na capacidade de atingimento do mercado consumidor.

Assim como as instalações, deve-se observar qual o equipamento mais adequado para revolvimento do material: compostadora montada em um trator ou compostadora acoplada a um trator, neste caso, deixando o trator livre para outras tarefas quando este não estiver sendo exigido no processo.

O tipo de compostadora influencia, além de custos, no espaço necessário para a estufa ou para o pátio de compostagem.

Dependendo da quantidade de lodo produzido, pode-se também optar pelo revolvimento com retroescavadeira e, neste caso, o formato da leira deve se adequar ao equipamento, permitindo que a pá da retroescavadeira consiga revolver todo o material.

## 5.6 Demanda por fertilizante orgânico

Tão importante quanto os outros aspectos deve ser o mercado de fertilizante orgânico. Este projeto não teve como objetivo o estudo deste mercado, mas é importante considerarmos as alternativas de destino da produção de fertilizante numa análise econômica.

Neste estudo, a cultura do milho foi considerada para aplicação do fertilizante orgânico, pois é representativa nos municípios do estado de São Paulo em que a SABESP administra o serviço de saneamento em mais de 300 municípios, além de ser admitida, segundo as Resoluções do CONAMA e Instruções Normativas do MAPA, como cultura apta a receber o fertilizante orgânico.

Várias são as características que definem a quantidade de fertilizante orgânico a ser aplicado: solo, clima, cultura, atividade agrícola, forma de adubação. Assim, para cada uso do fertilizante orgânico há uma taxa específica de aplicação.

A indicação de fertilizante orgânico (2% de N, base úmida) para o cultivo de milho foi de 170 kg ha<sup>-1</sup> baseada na adubação nitrogenada recomendada pelo Boletim 100 (RAIJ et al., 1997) e estipulando-se uma taxa de mineralização de 50% no primeiro ano.

Assim, para atender a demanda de N da cultura de milho seriam necessárias, aproximadamente, 20 t ha<sup>-1</sup> de fertilizante orgânico (Tabela 18).

**Tabela 18 – Área plantada de milho no município de Botucatu e no estado de São Paulo e demanda por fertilizante orgânico**

Local	Área plantada (ha)	Demanda por fertilizante orgânico (t ha <sup>-1</sup> /ano)
Botucatu	1.950	39.000
Estado de São Paulo (1)	525.931	10.518.620

Fonte: IBGE (2015).

(1) Municípios atendidos pela Sabesp

## 5.7 Transporte do fertilizante orgânico

Para que se avaliasse o raio máximo viável do transporte do fertilizante orgânico até às culturas aptas a recebê-lo foi necessário, em primeiro lugar, avaliar a capacidade máxima de produção de fertilizante orgânico.

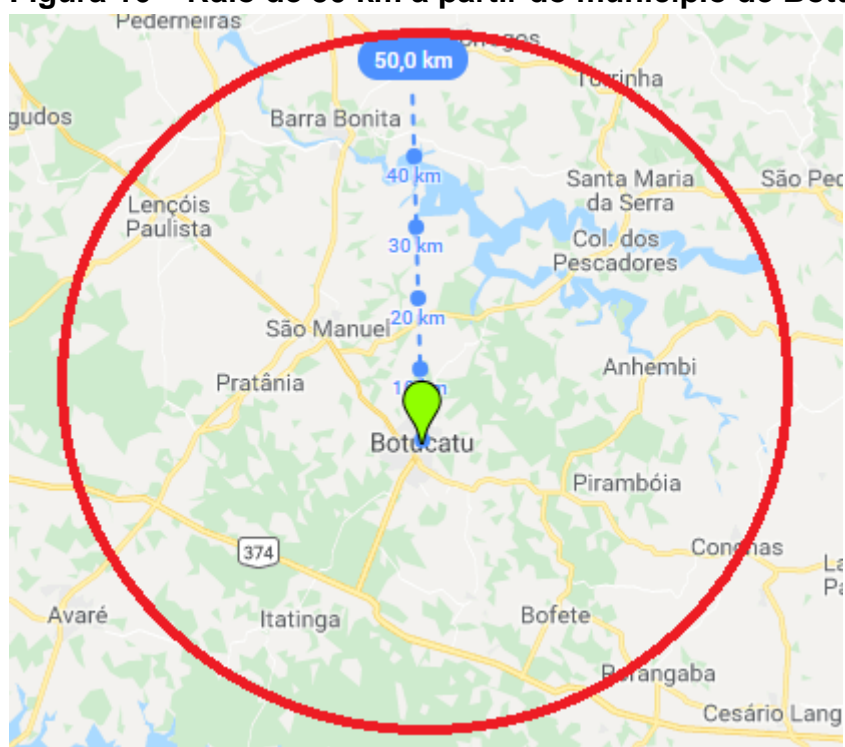
Também foi fundamental assumir alguns parâmetros que permitissem calcular o custo do transporte do fertilizante orgânico: cultura apta a receber o fertilizante orgânico, produção desta cultura no município de Botucatu e também num raio de 50 km a partir do município de Botucatu, onde está localizada a ETE Lageado que é produtora do lodo de esgoto, tipo e capacidade do caminhão para seu transporte e produção de fertilizante orgânico por tipo de ME.

Adotou-se a produção de fertilizante orgânico com BC, pois foi o que apresentou maior produtividade (45%) ou uma produção de 882 t/ano (1458 m<sup>3</sup>/ano).

Portanto, a produção de fertilizante orgânico a partir do BC atenderia menos do que 50 ha/ano ( $882 / 20 = 44$  ha/ano) da área cultivada com milho no município de Botucatu.

Para avaliar a capacidade de cobertura da produção de fertilizante orgânico com BC na ETE Lageado, arbitrou-se um raio de 50 km tomando como centro o município de Botucatu (Figura 16).

**Figura 16 – Raio de 50 km a partir do município de Botucatu**



Fonte: Adaptado a partir do Google Maps (2018).

Foram identificados 17 municípios contidos neste raio, a área plantada de milho (9.401 ha) e respectivas quantidades consumidas de fertilizante orgânico para estes municípios (Tabela 19).

**Tabela 19 - Produção de milho por município e uso de fertilizante orgânico**

<b>Município (1)</b>	<b>Área cultivada de milho (ha) (1)</b>	<b>Demanda por fertilizante orgânico (t ha<sup>-1</sup>/ano)</b>
Anhembi	1.140	22.800
Areiópolis	120	2.400
Barra Bonita	5	100
Botucatu	1.950	39.000
Dois Córregos	350	7.000
Igaraçu do Tietê	5	100
Itatinga	1.300	26.000
Lençóis Paulista	250	5.000
Macatuba	600	12.000
Mineiros do Tietê	181	3.620
Pardinho	1.300	26.000
Porangaba	600	12.000
Pratânia	400	8.000
Santa Maria da Serra	220	4.400
São Manuel	150	3.000
Torrinha	430	8.600
<b>Total</b>	<b>9.401</b>	<b>188.020</b>

(1) Fonte: IBGE (2015).

Com base na produção de fertilizante orgânico, com utilização de BC, e na necessidade por município ou região para a cultura de milho, verificou-se que existe déficit de atendimento. Para o município de Botucatu, a produção só atenderia 2% da necessidade e para o total dos municípios contidos no raio de 50 km, o percentual chegaria a apenas 0,5% (Tabela 14).

**Tabela 20 – Produção de fertilizante orgânico e utilização na cultura de milho**

Local	Fertilizante orgânico (t/ano)		Percentual de Atendimento
	Produção	Utilização	
Botucatu	882	39.000	2,3%
Raio de 50 km	882	188.020	0,5%

Verificou-se, portanto, que a produção é insuficiente, seja para Botucatu ou para os municípios que estão dentro do raio arbitrado de 50 km.

No entanto, resta saber se houvesse produção abundante, até onde se poderia levá-la mediante a análise do custo do transporte. Assim, o custo do transporte do fertilizante orgânico foi comparado com o custo do transporte e disposição do lodo de esgoto no aterro de Paulínia.

Tomou-se como referência os pisos mínimos de frete com base nas tabelas da ANTT reajustadas pela RESOLUÇÃO nº 5.827, DE 4 DE SETEMBRO DE 2018, segundo a lei Nº 13.703, de 08/08/2018 (TABELAS DE FRETE, 2018).

Para a simulação dos valores de frete para várias distâncias, adotou-se tipo de carga a granel, caminhão com quatro eixos e capacidade de 33 t por viagem, não havendo carga de retorno (PESO E CAPACIDADE DE CAMINHÕES, 2018) (Tabela 21).

**Tabela 21 – Simulação do custo de frete de fertilizante orgânico para várias distâncias**

Distância (em km)	Custo do frete (R\$)	Custo do frete	
		por km	por t km <sup>-1</sup>
5	84	16,80	0,51
10	168	16,80	0,51
25	420	16,80	0,51
50	840	16,80	0,51
100	1.048	10,48	0,32
250	2.080	8,32	0,25
500	3.920	7,84	0,24

Fonte: Elaborado pela autora a partir das Tabelas de Frete (2018).

Observa-se que o custo do frete decresce unitariamente à medida que a distância aumenta, sendo esse um dos princípios de gerenciamento de transportes;



conceito comparado à economia de escala. Há uma redução de custo por unidade de distância, pois despesas fixas podem ser diluídas, dentre outros fatores, pelo km percorrido (CHOPRA e MEINDL, 2011).

Assim como se arbitrou um raio mínimo de 50 km, a partir do município de Botucatu, também se chegou a um raio máximo de 500 km, pois com este raio se cobriria todo o estado de São Paulo e a intenção de considerar estas distâncias foi a de avaliar o custo do frete em várias alternativas.

Ressalva-se que mesmo a distância de 500 km, ainda que pudesse ser economicamente viável em relação a distâncias menores, se tornaria logisticamente pouco competitiva em relação ao tempo de viagem, pois a produção de fertilizante orgânico de outras ETEs no estado de São Paulo poderia estar mais próxima das culturas de milho que eventualmente necessitassem deste insumo.

Comparativamente a estes valores de frete do fertilizante orgânico tem-se o custo de transporte e de disposição do lodo de esgoto que na situação sem o projeto era levado ao aterro de Paulínia que dista da ETE Lageado aproximadamente 170 km (GOOGLE MAPS, 2018) (Tabela 22).

**Tabela 22 – Custo de transporte e disposição de lodo de esgoto em aterro sanitário localizado em Paulínia – SP**

Item	R\$ t <sup>-1</sup>	R\$ t km <sup>-1</sup>
Transporte	122	0,72
Disposição	160	0,94
<b>Total</b>		<b>1,66</b>

Verifica-se que a unidade de transporte e disposição do lodo é dada em m<sup>3</sup>, no entanto, conforme constatado no próprio experimento, a massa específica do lodo, assim como de outros materiais que possuem mais do que 85% de água, pode ser comparada à massa específica da água que é de 1 t m<sup>-3</sup>, tornando comparáveis o valor do transporte do lodo e do fertilizante orgânico.

Portanto, conclui-se que qualquer que seja o raio de transporte do fertilizante orgânico, a partir da ETE Lageado, considerando-se a ressalva da viabilidade logística em relação a outras ETEs, é mais viável economicamente transportar o fertilizante orgânico, que na situação de maior custo unitário foi de R\$0,51 t km<sup>-1</sup> em relação ao custo de R\$1,66 t km<sup>-1</sup> do transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário.

## 6 CONCLUSÕES

A análise dos indicadores econômicos segmentados em função dos MEs e origem das receitas permite as seguintes conclusões em relação à compostagem com lodo de esgoto:

- Apenas a comercialização do fertilizante orgânico (combinação A e D) não viabiliza economicamente sua produção, tanto para BC como para CE.
- A economia de custos ao se transportar e dispor o lodo de esgoto em aterro sanitário (combinação B ou E) já torna o projeto plenamente viável, do ponto de vista econômico. Neste caso, supondo-se que não se venda o fertilizante orgânico, o ideal seria utilizar a matéria prima de menor custo, que é a casca de eucalipto, obtendo-se: VPL = R\$ 2.537.82, TIR = 61%, PBD = 1,8 anos e B/C = 2,32.
- A alternativa mais viável, dentre todas as estudadas, foi a que utilizou BC, tomando-se como receita a comercialização do fertilizante orgânico e a economia de custos com o transporte e a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário (combinação C). Os resultados desta combinação foram VPL de R\$ 3.669.997, TIR igual a 84%, PBD de 1,3 anos e B/C de 2,83, demonstrando a viabilidade econômica do projeto.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. In: ASABE D497,7. ***Agricultural machinery management. ASABE standards***, St. Joseph, USA. P. 385-390. 2011.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F., Eds. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG; Sanepar, v.6, 2014. 484p.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIO COMBUSTÍVEIS. **Sistema de levantamento de preços/síntese dos preços praticados em dezembro de 2017**. Disponível em: <[https://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Index.asp](https://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp)>. Acesso em: 15 fev.2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006 a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº 35, de 04 de julho de 2006. Dispõe sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006 b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº 25, de 23 de julho de 2009. Estabelece normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº 05, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 481, de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2017.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Ed. Elsevier, São Paulo, 28ª reimpressão, 2004.

CARVALHO, P. de C. T. de. **Introdução a fundamentos sobre a compostagem**. In: TSUTIYA, M. T. et al (eds.). *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. Cap. 6. p. 181-208.

CASAROTTO, F. N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11ª. Ed. São Paulo: Atlas, 2010. 411 p.

CHOPRA, S, MEINDEL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos :estratégia, planejamento e operações**. São Paulo: Pearson, c2011. xv, 519 p. : il.

COLODORO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. (Tese de doutorado). Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2005. 82p.

DENADAI, M. S. **Avaliação do desempenho operacional e de custos entre enfardadoras no recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar**. (Dissertação de mestrado). Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2014. 53f.

ESALQ/USP. Casa do Produtor Rural. Evento realizado: **Palestra e Prática: Aproveitamento de Resíduos na Propriedade Rural**. Piracicaba. 2012. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/cprural/eventos/pg/15>. Acesso em: 03 jan. 2018.

FARO, C. **Elementos de engenharia econômica**. 3ª ed. ver. e ampl. São Paulo: Atlas, 1979.

FERNANDES, F.; LOPES, D. D.; ANDREOLI, C.V.; SILVA, S. M. C. P. **Avaliação de alternativas e gerenciamento de lodo de esgoto na ETE**. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final C.V. ANDREOLI; M. V. ANO 2014.

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Londrina: Prosab, Finep, 1999. 84p.

FGV Fundação Getúlio Vargas. Portal IBRE – Instituto Brasileiro de Economia. Disponível em: <http://portalibre.fgv.br/>>. Acesso em 03 jan.2018.

GITMAN, Lawrence Jeffrey, e Jeff Madura. **Administração financeira: uma abordagem gerencial**. São Paulo: Addison Wesley, 2003.

GOOGLE MAPS. Disponível em:

<https://www.google.com.br/maps/dir/Estre+Ambiental+-+CGR+Paul%C3%ADnia+SP,+Avenida+Orlando+Vedovello,+s%2Fn+-+Parque+da+Represa,+Paul%C3%ADnia+-+SP,+13144-610/Fazenda+Experimental+Lageado,+Campus+Botucatu+Faculdade+de+Ci%C3%A4ncias+Agron%C3%B4micas+-+R.+Dr.+Jos%C3%A9+Barbosa+de+Barros,+1780+-+Jardim+Paraiso,+Botucatu+-+SP,+18610-390/@-22.8888992,-48.3810761,9z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x94c895ec1214160f:0x291d97ffc6b0e65f!2m2!1d-47.203044!2d-22.774277!1m5!1m1!1s0x94c7206129677a27:0x91c1b5f76461d8cc!2m2!1d-48.4341037!2d-22.8577968!3e0>. Acesso em: 15 out. 2018.

GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. Pág 17 a 78

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em 03 jan.2018.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?&t=resultados>. Acesso em 03 jan.2018.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 154p.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Banco de dados: Ipeadata**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38390>>. Acesso em: 15 fev.2018.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

MARTINS, S. F. **Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura**. (Dissertação de mestrado). Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2016. 60p.

PEREIRA NETO, JOÃO TINÔCO. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 81 p.

PESO E CAPACIDADE DE CAMINHÕES. Disponível em: <https://www.carrodegaragem.com/peso-e-capacidade-de-carga-de-caminhoes-tabela-dnit-e-antt/>. Acesso em: 15 out. 2018.

HESS, G; MARQUES, J.L; PAES, L.C.R; PUCCINI, A. **Engenharia Econômica**. 21<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 389 p.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://site.SABESP.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>. Acesso em 03 jan.2018.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica**. 2015. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 03 jan 2018.

SPERLING & F. FERNANDES (Ed.). **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, v.6, 2014. p. 299 - 317.

TABELAS DE FRETE. Disponível em: <https://www.tabelasdefrete.com.br/p/calculo-carreteiro?1>. Acesso em:15 out. 2018.

TSUTYA, M. T. **Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos**. In BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.p. 69-105.