

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO
PARA USO NA AGRICULTURA**

SARA FERNANDES MARTINS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Agosto – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO
PARA USO NA AGRICULTURA**

SARA FERNANDES MARTINS

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Agosto – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M386a Martins, Sara Fernandes, 1984-
 Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agrigultura / Sara Fernandes Martins. - Botucatu : [s.n.], 2016
 ix, 60 f. : fots. color., ils. color., grafs. color., tabs.

 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
 Orientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini
 Inclui bibliografia

 1. Lodo de esgoto. 2. Adubos compostos. 3. Viabilidade econômica. 4. Resíduos orgânicos como fertilizantes. I. Esperancini, Maura Seiko Tsutsui. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO PARA USO NA AGRICULTURA

AUTORA: SARA FERNANDES MARTINS

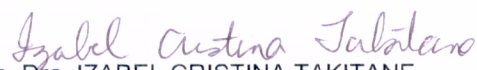
ORIENTADORA: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

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



Profa. Dra. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. IZABEL CRISTINA TAKITANE

Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Profa. Dra. NÚRIA ROSA GAGLIARDI QUINTANA

UNIBR - Faculdade de Botucatu

Botucatu, 30 de agosto de 2016

*“Por vezes sentimos que aquilo
que fazemos não é senão uma gota
de água no mar. Mas o mar seria
menor se lhe faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcutá

*Dedico à minha mãe, Martha, que desde
sempre me ensinou a sempre questionar,
buscar e nunca deixar de aprender.*

Agradecimentos

A Deus por permitir que mais esta jornada pudesse ser cumprida;

À minha família por todo amor e lealdade;

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maura Seiko Tsutsui Esperancini, pela paciência, pela orientação, por todo conhecimento compartilhado e por me fazer compreender a importância da disciplina que devemos ter em toda e qualquer atividade;

Ao Prof. Ricardo Ghantous Cervi pelo incentivo e por todo o suporte desde a graduação;

Aos Professores Osmar de Carvalho Bueno, pelo acolhimento desde o início como aluna especial e aos Professores Sérgio Campos e Zacarias Xavier de Barros pelo suporte;

Às Professoras Izabel Cristina Takitane e Núria Rosa Gagliardi Quintana pela colaboração e sugestões nas bancas de qualificação e defesa;

Aos Funcionários do Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia Rural da FCA/UNESP, por toda ajuda prestada;

Aos funcionários da Biblioteca e da Seção de Pós Graduação, em especial à funcionária Kátia, por toda paciência e auxílio durante todo o programa;

Aos funcionários da ETE Lageado da Sabesp de Botucatu, Fregona, Michael, Sr. Pereira e Nilton pela colaboração;

À Gerente de Controle Sanitário Ana Lúcia Silva, da Sabesp de Botucatu, por todo suporte durante a elaboração deste trabalho;

Ao encarregado Júlio César, aos gerentes Sandro, Cinti e Carreira, e ao Superintendente Mário Pardini, que desde o início deram todo o suporte para que eu pudesse adequar meu expediente frente aos compromissos acadêmicos;

Aos amigos Luciana Feliciano, Eliel, Janaína, Carina e Juliano Galvani que estiveram comigo nas horas difíceis, sempre oferecendo uma mão amiga.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia-Energia na Agricultura e à FCA pela oportunidade;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS.....	IX
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1 Tratamento de esgoto.....	8
4.1.1 Processos e relevância.....	8
4.1.2 Resíduos gerados.....	9
4.2 Lodo de Esgoto.....	10
4.2.1 Caracterização do lodo de esgoto.....	10
4.2.2 Lodo de esgoto como fertilizante.....	11
4.2.3 Valor dos nutrientes.....	12
4.2.4 Uso na agricultura.....	13
4.2.5 Uso na recuperação de áreas degradadas.....	14
4.3 Compostagem.....	15
4.3.1 Material estruturante como fonte de carbono.....	16
4.4 Avaliação econômica.....	16
4.5 Valoração econômica dos nutrientes.....	17
4.6 Normas para utilização do lodo.....	18
5 METODOLOGIA.....	20
5.1 Objeto de estudo.....	20
5.1.1 A Estação de Tratamento de Esgoto.....	20
5.1.2 Estufa de Compostagem.....	22
5.2 Metodologia de avaliação de custos.....	25
5.2.1 Custos de Produção do Lodo.....	25
5.2.2 Custos Variáveis.....	27
5.2.3 Custos de Disposição.....	28
5.2.4 Valoração econômica dos nutrientes.....	29
5.2.5 Preços.....	29
5.2.6 Viabilidade econômica do lodo compostado e lodo seco.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1 Custos fixos.....	31
6.2 Custos variáveis.....	31
6.3 Custo total.....	34
6.4 Custo de disposição em aterro sanitário.....	35
6.5 Custo de análise laboratorial.....	35
6.6 Valoração econômica dos nutrientes.....	35
7 CONCLUSÃO.....	41
8 REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICES.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de juros Selic (2015)	27
Tabela 2 - Detalhamento do processo de obtenção do composto.....	30
Tabela 3 - Custo fixo da estufa de compostagem e equipamento de revolvimento	31
Tabela 4 - Custos variáveis da produção dos lotes de lodo	32
Tabela 5 – Custo total do lote produzido com material estruturante (ME)	34
Tabela 6 - Resultado da Análise Laboratorial das amostras.....	36
Tabela 7–Valores médios pagos pela agricultura entre 2010 e 2015	36
Tabela 8 - Estimativa do volume total dos nutrientes e valor econômico dos lotes produzidos	37
Tabela 9 - Custo final dos lotes produzidos	37
Tabela 10– Comparação de custos com inclusão do valor de venda do composto	38
Tabela 11 - Comparação de custos de compostagem vs. disposição em aterro	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta da ETE Lageado - Sabesp de Botucatu.....	21
Figura 2 - Vista aérea da ETE	21
Figura 3 - Saída da centrífuga e acondicionamento do lodo em caçambas	22
Figura 4 - Estufa de compostagem	23
Figura 5 - Vista interna da estufa.....	23
Figura 6 - Equipamento de revolvimento e secagem	24
Figura 7 - Medição de temperatura.....	24
Figura 8 – Participação individual dos itens no custo variável (lote com ME).....	33
Figura 9 - Participação individual dos itens no custo variável (lote sem ME).....	33
Figura 10 - Participação dos custos fixos e variáveis no custo total (lote com ME).....	34
Figura 11 - Participação dos custos fixos e variáveis no custo total (lote sem ME)	34
Figura 12 - Custos de compostagem com e sem adição de ME vs. custo disposição em aterro em R\$ t ⁻¹	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CSJ: Companhia de Saneamento de Jundiaí

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

IEA: Instituto de Economia Agrícola

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ME: Material estruturante

NMP/g: Valores do Número Mais Provável de Microrganismos por grama

R\$: Reais (unidade monetária)

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

ST: Sólidos totais

t: Tonelada

UASB: Upflow anaerobic sludge blanket

UFP/g: Unidade formadora de placa por grama

1 RESUMO

O objetivo geral deste estudo é avaliar economicamente a produção do lodo de esgoto compostado com e sem material estruturante (ME), na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) “Lageado”, da Sabesp de Botucatu, para fins de uso agrícola. Resultante do processo de tratamento primário e secundário de esgotos, o lodo de esgoto é um resíduo de difícil destinação por diversas razões, como por exemplo, o alto custo de transporte e disposição em aterro sanitário. Esta ETE produz 16 toneladas de lodo por dia, o que gera um custo anual aproximado de R\$ 1.466.438,40 em transporte e disposição. Foi estimado o custo anual de produção do lodo de esgoto compostado com ME, com base no processo de produção de um lote de caráter experimental. Para o produto final que não utilizou ME, a estimativa foi elaborada com base no processo atual de secagem e revolvimento de lodo fresco. A análise mostrou que independente do uso do ME, o custo para processamento do lodo é inferior ao custo atual de disposição em aterro, sendo de R\$ 96,88 t⁻¹ para o composto com ME e de R\$ 63,41 t⁻¹ para o sem ME, frente aos R\$ 254,59 t⁻¹ de disposição final. Foram realizadas análises de amostras dos produtos finais para estimar o valor econômico contido através nos nutrientes presentes e ambos apresentaram quantidade satisfatória de nutrientes, além de atender os parâmetros da Resolução CONAMA 375/06 e exigências do Ministério da Agricultura (MAPA). Considerando hipoteticamente que a Companhia pudesse comercializar estes produtos como fertilizantes, com base nos valores médios pagos pela agricultura, o composto com ME geraria uma receita de R\$ 270.467,12 e o produto sem ME de R\$ 39.653,28. Os processos de compostagem e de revolvimento do lodo seco representam 38% e

27% do custo para disposição em aterro, respectivamente. Esta análise mostrou que qualquer um dos processos adotados será economicamente mais viável do que o custo de disposição em aterro. Os resultados fornecem uma direção para tomadas de decisões quanto a parcerias para fornecimento de ME, adequações para redução do custo de movimentação interna do lodo, possibilidade de registro e distribuição do composto final e determinação da distância ótima para distribuição do lodo seco ou composto.

Palavras chave: Lodo; Esgoto; Compostagem;

2 SUMMARY

ECONOMIC ANALYSIS OF COMPOSTED SEWAGE SLUDGE PRODUCTION FOR USE IN AGRICULTURE.

Botucatu, 2016, 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SARA FERNANDES MARTINS

Adviser: Dr^a. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

The aim of this study is to economically evaluate the production of composted sewage sludge with and without structural materials (SM), at the SABESP's (Basic Sanitation Company of the State of Sao Paulo) Sewage Treatment Plant (STP) "Lageado" in Botucatu, for agricultural use purpose. As a result of the process of primary and secondary treatment of sewage, the sewage sludge has a difficult end disposal for several reasons, such as the high cost of transportation and disposal in landfill. This STP produces 16 tons of sludge per day, which generates an approximate annual cost of R\$ 1,466,438.40 in transportation and disposal. This study estimated the annual cost to produce the composted sewage sludge with SM, based on the production process of a experimental lot. For the final product that was not added the SM, the estimated cost was developed based on the current process of drying and revolving fresh sewage sludge. The analysis showed that regardless using SM or not, the cost per ton for processing the sewage sludge is lower than the current cost of disposal in landfills,

representing R\$ 96,88 t⁻¹ for the compound with SM and R\$ 63,41 t⁻¹ without SM, compared to the R\$ 254,59 t⁻¹ cost for final disposal. Analyzes of the final products samples were performed to estimate the economic value of the present nutrients and both were satisfactory due to the amount of nutrients, in addition to comply with the parameters from the CONAMA Resolution n°375/06 and requirements of the Ministry of Agriculture (MA). Considering the hypothesis that the company could market these products as fertilizers, and based on the price paid by agriculture, the compound with SM would generate an income of R\$ 270.467,12 and the one without SM R\$ 39.653,28. The composting process and the drying and revolving sewage sludge process represent, respectively, 38% and 27% of the cost for disposal in landfill. This analysis shows that any of the processes taken will be more viable economically, than the cost of disposal in landfill. The results allow a link to decision-making about finding partnerships to supply the SM, adjustments to reduce the internal cost of sewage sludge transfer, the possibility of registering and distribution of the final compound and determining the optimum distance to distribut the dry or composted sewage sludge.

Key words: Sludge; Sewage; Composting

3 INTRODUÇÃO

O tratamento de esgotos possui importância vital para a saúde humana e a preservação dos ecossistemas. O lançamento irregular in natura desencadeia inúmeras doenças causadas por patógenos, através da contaminação dos solos, das águas e de alimentos.

A lei nº 12.305/10, regulamentada pelo Decreto nº 7.404, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos traz a construção de um plano em nível nacional, que contempla a problemática dos diversos tipos de resíduos gerados, quais alternativas de destinação e gerenciamento da implementação dessas alternativas, bem como planos de metas, projetos e programas.

Tratamentos de esgoto são necessários para de atender a legislação vigente, adequando os parâmetros do efluente lançado, com a redução ou remoção de substâncias presentes no esgoto, que impactam diretamente no meio ambiente. A Lei nº 11.445 de 05 de Janeiro de 2007, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Esta última dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Resultante do processo de tratamento primário e secundário de esgotos, o lodo é um material de complexa composição o que pode dificultar seu uso para

algumas finalidades. Com o aumento do volume de lodo produzido, a destinação deste resíduo é causa de preocupação nas empresas de tratamento de esgotos, órgãos ambientais e pesquisadores. Estudos apontam um aumento alarmante de lodo para os próximos anos, devido ao aumento da capacidade de tratamento de esgotos dos países em desenvolvimento (SAITO, 2007). O lodo de esgoto é um resíduo de difícil destinação também pelo volume crescente de produção, o que torna a destinação em aterros cada vez mais cara, além dos possíveis impactos ambientais no solo e nos lençóis freáticos. Embora a destinação mais comum seja a disposição em aterros sanitários, em alguns casos este resíduo pode ainda, ser incinerado, o que acarreta sérios problemas de poluição atmosférica.

A questão da destinação do lodo de esgoto deve ser analisada, pois é certo o esgotamento da capacidade de recebimento dos aterros atuais e dos problemas econômicos e ambientais de abertura de novas áreas para a disposição destes resíduos. Desta forma, alternativas de menor impacto ambiental e economicamente viáveis devem ser avaliadas. Uma das alternativas com maior potencial econômico e ambiental é a reutilização deste resíduo (PIRES e MATIAZZO, 2008).

Apesar de rico em matéria orgânica, e em nutrientes importantes como nitrogênio, fósforo e micronutrientes, a Resolução CONAMA nº375/2006 não permite que este resíduo seja utilizado diretamente no solo para cultivo agrícola, por conterem uma variedade de organismos com potencial patogênico como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias. O nível destes microrganismos necessita ser reduzido a níveis que não tragam riscos à saúde pública.

Uma das alternativas para melhoria deste lodo é a compostagem, que o torna livre de patógenos, e podendo ser aplicado em culturas agrícolas em substituição aos adubos convencionais. A compostagem do lodo de esgoto traz inúmeras vantagens, entre elas o aumento da vida útil de aterros sanitários, o reaproveitamento de matéria orgânica na agricultura e a reciclagem de nutrientes para o solo (PELEGRINO et al, 2008).

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SABESP de Botucatu produz 16 toneladas de lodo por dia. Este montante gera um custo aproximado de R\$4.073,44 por dia em transporte e disposição em aterros.

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo é avaliar economicamente a produção do lodo de esgoto compostado com e sem material estruturante,

na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) “Lageado”, da Sabesp de Botucatu, para fins de uso agrícola. Os objetivos específicos são: a) estimar os custos de produção do composto com e sem adição de material estruturante; b) avaliar qual composto possui menor custo de produção frente ao custo de disposição em aterro sanitário; c) fazer a valoração econômica dos nutrientes presentes nos lotes produzidos e; d) analisar qual composto traria mais lucro à companhia se houvesse possibilidade de comercialização;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Tratamento de esgoto

4.1.1 Processos e relevância

Todos os resíduos líquidos que provém de residências, unidades hospitalares e/ou industriais que necessitem de processo para remoção de impurezas antes se serem devolvidas ao corpos d'água afim de não causarem contaminações e consequentemente danos ao meio ambiente e ao ser humano, são considerados esgotos (FARIA, 2006).

Faria (2006) aponta que a matéria orgânica depositada em corpos hídricos é capaz de ser decomposta pela natureza, porém em grandes quantidades, como provenientes do lodo de esgoto, necessitam de tratamento prévio através das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), que conseguem replicar a ação da natureza, porém em menos tempo.

Quando não possui efluente não doméstico, o esgoto é em sua maioria composto por 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis além de 0,07% de substâncias dissolvidas (NUVOLARI et al., 2011).

A separação destas fases é realizada por processos de decantação ou floculação (METCALF e EDDY, 2003), sendo a fase líquida lançada aos corpos receptores e a

fase sólida processada, para que seja utilizada ou destinada (GONÇALVES et al., 2010). A maior parte dos poluentes está concentrada na parte sólida.

Fatores como a origem, local e época do ano de coleta fazem com que a composição química do lodo de esgoto seja variável, bem como o tratamento a que foi submetido (MELO e MARQUES, 2000).

4.1.2 Resíduos gerados

O lodo de esgoto é o resíduo gerado durante o tratamento de esgoto, processo em que líquidos e sólidos são separados. Enquanto a parte líquida, a água residual, é devolvida ao meio ambiente, a parte sólida é removida para tratamento e disposição final. Algumas das partes separadas durante o tratamento de esgoto são areia, os sólidos retidos no gradeamento e o lodo. Destes, o lodo é o que é gerado em maior quantidade e sua destinação a mais preocupante, uma vez que sua disposição irregular pode trazer consequências ambientais (METCALF e EDDY, 1991).

O tratamento da parte sólida dá-se através dos processos de estabilização, secagem e higienização. Durante a estabilização, busca-se a redução de sólidos voláteis para assim reduzir a geração de odores indesejados que poderiam atrair animais e vetores propagadores de doenças. A estabilização pode ainda eliminar parte dos patógenos presentes do lodo. A digestão aeróbia, anaeróbia e a compostagem são consideradas formas de estabilização. O processo de secagem implica diretamente nos custos finais de transporte e de valoração econômica do próprio bio sólido, uma vez que sua função é eliminar o excesso de umidade do material. Este processo dá-se por desaguamento, desidratação ou adensamento. A higienização possibilita a utilização segura do bio sólido já que busca a eliminação de patógenos até níveis não prejudiciais à natureza e ao homem. As principais formas de higienização do lodo são a caleação (adição de cal virgem), compostagem e secagem térmica (ANDREOLI, SPERLING E FERNANDES, 2014).

Utilizar o lodo como fertilizante agrícola propõe uma maneira de agregar valor econômico ao resíduo, tornando-o comercial. Takamatsu (1995) aponta que esta é a opção mais promissora dentre as existentes de disposição ou incineração.

4.2 Lodo de Esgoto

4.2.1 Caracterização do lodo de esgoto

O subproduto do tratamento de esgoto, parte sólida separada da parte líquida antes do lançamento do efluente final em corpo receptor, é denominado lodo, onde estão concentrados poluentes, contaminantes e nutrientes (CORREA, FONSECA e CORREA, 2007).

O lodo de ETE pode ter duas origens: esgotos sanitários, oriundos de residências, através da rede coletora de esgotos e bombeado através de elevatórias de esgotos, e esgotos industriais, provenientes dos processos produtivos, através da rede coletora (com pré tratamento) ou através de caminhões diretamente nas ETEs. Apesar de estarem sujeitos a contaminações por lançamentos irregulares, os esgotos sanitários são constituídos basicamente por efluentes residenciais. Os lodos industriais apresentam quantidades consideráveis de materiais pesados, tornando-o inadequado para aplicação agrícola (BETTIOL e CAMARGO 2006b).

Tedesco et. al. (2008) afirma que o lodo possui teores de carbono próximos a 30% (quando seco), altos teores de N, P e S (Nitrogênio, Fósforo e Enxofre) porém baixa quantidade de K (Potássio). Normalmente com pH entre 6,0 e 7,0, apresenta concentrações significativas de Ca e Mg (Cálcio e Magnésio). Apresenta além dos macronutrientes, alta quantidade de micronutrientes (CHENG et al., 2007).

O lodo bruto pode então ser definido como um subproduto do tratamento de esgoto com grande potencial para utilização na agrícola especialmente em áreas degradadas. Contudo seu uso deve ser constante monitorado evitando disposição de metais pesados e outros patógenos não removidos, no solo ou nos corpos d'água, evitando a contaminação destes (GOMES et al., 2001; SPERLING e ANDREOLI, 2010; SILVA et al., 2008).

4.2.1.1 Patógenos

Em função do tempo do resíduo ou sua origem, a concentração de patógenos pode ser variável. Tsutiya (2001) discorre que, embora a variedade de micro

organismos seja grande, apenas uma pequena parcela de bactérias, protozoários, ovos de helmintos e fungos são nocivos ao homem.

Para aplicação em solo, o lodo deve passar por tratamento para redução de patógenos e contra atração de vetores. Esses processos podem incluir digestão aeróbia, digestão anaeróbia, estabilização alcalina, secagem térmica e compostagem (QIN LU; STOFELLA, 2012).

Com tratamento adequado os patógenos humanos presentes no lodo de esgoto, tais como coliformes fecais, vírus e helmintos podem ser reduzidos, monitorando a população destes organismos seja no lodo utilizado quanto no solo a ser aplicado (PAREDES FILHO, 2011).

4.2.1.2 Metais Pesados

O maior obstáculo para utilização do lodo de esgoto são os metais pesados, além dos patógenos e micropoluentes orgânicos. Metais pesados são em sua maioria provenientes dos esgotos industriais e são facilmente eliminados do lodo, havendo controlada fonte do esgoto recebido. Em regiões que incluem os Estados Unidos e Europa, a presença de metais pesados não é preocupante (HALL, 1998).

O lodo apresenta diferentes concentrações de metais pesados que comportam-se de acordo com os metais já presentes no solo onde são aplicados (MELO e MARQUES, 2000).

Além da concentração de metais pesados, as concentrações de pesticidas e de hidrocarbonetos precisam ser também determinadas, antes da destinação do lodo (FYTILI; ZABANIOTOU, 2008).

4.2.2 Lodo de esgoto como fertilizante

Para incentivar e valorizar o uso do lodo e seus derivados foi criado o termo biossólido, para que a divulgação alcançasse sobretudo a agricultura. Porém, para que seja enquadrado como biossólido, o material deve estar higienizado e ainda apresentar características em acordo com as normas para utilização na agricultura (LIMA, 2010).

Por ser fonte de fósforo e nitrogênio, a utilização de biossólido como alternativa de disposição com baixo custo vem sendo amplamente estudada (BETTIOL e CAMARGO, 2006b).

Outras alternativas para a destinação correta ou utilização viável do lodo de esgoto ou biossólido são: disposição em aterro sanitário, agregado para fabricação de tijolos e cerâmicas ou cimento, incineração ou a recuperação de áreas degradadas (TSUTIYA, 2000).

4.2.3 Valor dos nutrientes

O lodo de esgoto é uma fonte valiosa de nutrientes, apesar de apresentar menores concentrações de N, P e K, comparado aos fertilizantes comercializados (COGGER, 2006). Os processos de digestão ou compostagem resultam na perda de N orgânico, pois, por ser a matéria orgânica facilmente degradável, ela sofre uma espécie de mineralização durante a digestão ou compostagem. Em alguns estudos, durante a compostagem, pode haver perda de até 15% de N, através da volatilização da amônia (TUBAIL et.al, 2008).

O biossólido como também é chamado, contém inúmeros micronutrientes essenciais para as plantas, como por exemplo B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) que não são presentes nos fertilizantes mais convencionais. Portanto, ele pode ser aplicado em solos com deficiência de micronutrientes, tais como solos alcalinos ou arenosos (WARMAN e TERMEER, 2005).

O valor dos nutrientes no lodo varia de acordo com o tipo de esgoto recebido e o tratamento a que é submetido. Processos como digestão e compostagem resultam na perda de matéria orgânica através da decomposição, aumentando as concentrações de P e metais, diminuindo a quantidade de nitrogênio através da volatilização da amônia e diminuição de K por lixiviação. Os lodos estabilizados com cal contém menos N, P e metais, porém maior concentração de Ca do que os lodos compostados. Isto se deve à quantidade de cal adicionada ao lodo (QIN LU; STOFELLA, 2012).

Contudo, a composição de nutrientes do biossólido é alterada significativamente pelos processos de estabilização. A taxa de distribuição dos nutrientes (ou

minerais) é também afetada pelo processo. A mineralização de N a partir da digestão aeróbia do lodo é significativamente maior do que nas provenientes de digestão anaeróbia (GARAU et.al, 1986).

4.2.4 Uso na agricultura

Os solos brasileiros são em sua maioria ácidos, com baixa fertilidade e intensa exploração. De acordo com Soares (2005), novas práticas vêm sendo estudadas para que possam contribuir com a melhoria das características deste solo, permitindo sua recuperação. O bio sólido oriundo do tratamento de esgoto que possua baixa concentração de metais pesados em sua composição após devidamente higienizado pode ajudar na recuperação dessas áreas. Pode ainda ser aplicado na silvicultura, paisagismos, floricultura ou produção de alimentos desde que de atenham às normas vigentes (EPSTEIN, 2002). Países como os Estados Unidos, Canadá e os da União Européia já vem incorporando o lodo de esgoto no solo há cerca de vinte anos.

Dados comunicados pelos Estados-Membros da União Européia e outros países europeus apontam que da produção total de 10 milhões de toneladas, 88% foi utilizado ou eliminado. Globalmente, 37% do lodo foi utilizado para recuperação de solos degradados (GERDEBIEN, 2009). Eurostat (2016) relataram que 54% do lodo produzido foi utilizado diretamente na agricultura ou compostado. Alemanha, França, Itália, Áustria, República Tcheca, Suécia, Finlândia, Romênia, Eslováquia, Lituânia, Eslovênia, Estônia e Luxemburgo são exemplos de países onde mais de 30% do lodo aplicado na agricultura, foi compostado.

Nos Estados Unidos, aproximadamente 65% de todo lodo de esgoto é destinado à agricultura, enquanto no Brasil este número não ultrapassa 3% (PENSAMENTO VERDE, 2014).

Na cultura de soja, por exemplo, a produtividade média obtida com a utilização de lodo de esgoto chega a ser 8% superior àquela obtida via fertilizante mineral. A liberação gradativa de nutrientes, principalmente do Fósforo (P) é considerada fator para o melhor resultado obtido. Apesar de ser menos solúvel no solo o lodo é mais constante no que diz respeito ao fornecimento a longo prazo (LEMAINSKI E SILVA, 2006b).

Em povoamento de eucalipto foi verificada por Vaz e Gonçalves (2002) que a produtividade da madeira com casca apresentou resposta positiva quando elevadas as concentrações de lodo de 0 a 40 Mg ha⁻¹. Treze meses após a aplicação, o crescimento em volume elevou-se de 1,9 para 7,2 m³ ha⁻¹, quando comparada à amostra que recebeu tratamento de 40 Mg ha⁻¹.

O lodo de esgoto influenciou de forma positiva a nutrição de espécies de eucalipto, gerando produção semelhante àquelas que receberam apenas adubação mineral adicionada de uma dose de 12 Mg ha⁻¹ de lodo (ROCHA ET AL., 2004).

O lodo de esgoto pode substituir por completo a adubação nitrogenada em culturas de cana de açúcar, em soqueiras, e de até 35% de fósforo no plantio da cana (OLIVEIRA, 2000). Silva et al. (1998) observaram na biomassa de colmos, aumento da produtividade como resultado no uso de 30 t ha⁻¹ de lodo. No segundo ano de cultivo da cana, quando aplicado lodo de esgoto complementado com KCl, foi observada maior produtividade, semelhante àquela obtida através da fertilização mineral (TASSO JUNIOR ET AL., 2007).

4.2.5 Uso na recuperação de áreas degradadas

Por ser uma fonte alternativa de matéria orgânica, o lodo de esgoto vem destacando-se como importante insumo agrícola para recuperação de solos degradados (CAMPOS e ALVES, 2008). As características físicas dos solos degradados podem ser recuperadas através da aplicação de lodo de esgoto.

Um aumento gradativo no diâmetro dos agregados do solo foram observados por De Maria et al. (2007) após aplicação de lodo de esgoto em Latossolo Vermelho. Por ser constituído predominantemente por matéria orgânica, o lodo de esgoto incrementa o processo de agregação das partículas do solo.

Kitamura et al. (2008), Campos e Alves (2008) e Melo et al. (2004) em seus estudos comprovaram a melhora dos solos degradados após aplicação de lodo de esgoto.

A disposição de lodo em solo para recuperação de áreas degradadas apresenta certas limitações, já que a composição do lodo deve ser específica. Isto deve-se ao

fato de que até mesmo nutrientes em excesso bem como materiais poluentes podem contaminar o solo ou o lençol freático (LEE, 2011).

4.3 Compostagem

Composto pode ser descrito segundo Haug (2003) como a decomposição biológica sob condições propícias ao desenvolvimento de temperaturas que promovam calor em tal condição a gerar um produto final que seja livre de patógenos e estável, para que possa ter aplicação no solo.

Para que o composto atinja a estabilização são necessárias condições ideais de umidade e revolvimento. O controle de temperatura é condição primordial para eliminação dos patógenos. O processo de compostagem ainda é responsável por destruir ovos de insetos, pequenos insetos, sementes e pragas relacionadas às plantas. São muitos os benefícios do composto orgânico para o solo, tais como manutenção da umidade. Impactam ainda na redução de pragas, melhoram o crescimento além de aumentar sua resistência. Além disto, possuem diversos nutrientes tais como nitrogênio e fósforo. Outros compostos menores também podem ser encontrados mas seu valor enquanto fertilizante é desprezível. Outro ponto positivo é o fato de não atrair moscas ou outros vetores (HAUG, 2003).

Há dois tipos de compostagem: a aeróbia, na presença de oxigênio, cujos principais subprodutos são CO_2 , água e calor. O processo anaeróbio por sua vez, pela ausência de O_2 produz, quando se degrada, metano, CO_2 e outros compostos álcoois e ácidos.

Haug (2003) denomina o sistema de leiras utilizado pelos sistemas de compostagem observados na região como Jundiaí, por exemplo (CSJ), de Disposição Horizontal, Silos ou Canais Abertos, que nada mais são do que extensas leiras de composto a serem revolvidas por equipamentos específicos ou adaptados. Define existirem condições químicas, físicas e de trabalho para que o composto esteja dentro do ideal, os efeitos da temperatura, umidade, espaços livres, quantidade de oxigênio e outros coeficientes na qualidade final do composto.

A temperatura da leira determina se o composto está pronto. Após o revolvimento se a leira apresentar aumento de temperatura é indicativo de que ainda há

atividade microbiológica. Quando a temperatura se estabiliza, o composto está pronto (ANDREOLI, 1999).

4.3.1 Material estruturante como fonte de carbono

Os microorganismos que degradam a matéria orgânica contida lodo de esgoto, geram um processo exotérmico, liberando calor que aumentam a temperatura das leiras de compostagem, reduzindo a umidade e patógenos. A adição de material estruturante (cascas, cinzas, palhas, serragem, podas de árvores, etc.) faz com que uma maior carga orgânica seja degradada, gerando mais calor em menor período de tempo (ANDREOLI, 1999).

Para Andreoli (1999) o material orgânico deve ser adicionado ao lodo em pedaços pequenos para favorecer a aeração, fundamental aos microorganismos no processo de degradação. A umidade também deve ser observada e esta deve estar, preferencialmente na faixa de 55 a 65%. Os microorganismos consomem nitrogênio durante a degradação e durante a ressíntese de matéria orgânica. O nitrogênio é fornecido pelo lodo de esgoto enquanto o carbono é fornecido pelo material estruturante. A relação C/N entre 20 e 30 é considerada ideal para que o composto apresente uma boa composição nutricional.

A relação C/N implica diretamente no tempo da compostagem. Quando a relação é alta, devido a deficiência de nitrogênio, apenas o carbono será eliminado, na forma de gás carbônico. Quando a relação C/N é baixa, o nitrogênio será eliminado na forma de amônia, que acarretará a liberação de odor característico (PEREIRA NETO, 1996).

4.4 Avaliação econômica

Quanto à distância ideal para o transporte do biossólido, ao comparar o custo de transporte e disposição em aterro, àquele subsidiado pela ETE ao agricultor, Quintana (2006) observou que a segunda opção abrange uma distância maior.

Uma variável que implica diretamente no custo de transporte do biossólido é a umidade. A redução desta variável aumentaria o interesse do agricultor pelo produto, uma vez que o valor final seria menor em virtude da redução do custo de transporte,

além de ser um fertilizante viável econômica e agronomicamente em culturas de soja (LEMAINSKI e SILVA, 2006).

Andreoli, Pegorini e Castro (2000a), também observaram uma grande dificuldade em relação ao transporte em um estudo preliminar em Foz do Iguaçu, já que o processo geraria duas movimentações: do lodo fresco para a unidade de reciclagem e do produto final ao produtor rural. É necessário avaliar também o tipo de transporte quando o trajeto percorrer área urbana e quais medidas de emergências devem ser tomadas em caso de acidentes.

O lodo de esgoto possui valor agregado superior ao do frete. (QUINTANA, BUENO e MELO, 2012). Quando o custo do fertilizante para o produtor é referente apenas ao frete, o retorno financeiro comparado ao do uso do fertilizante mineralé quatro vezes maior em culturas de milho (BISCAIA e MIRANDA, 1996).

4.5 Valoração econômica dos nutrientes

A apresentação dos nutrientes no composto e seu teor é determinante na sua valoração econômica, porém é necessário que esse bio sólido seja consolidado no mercado, partindo de uma produção em larga escala e o desenvolvimento de técnicas agrícolas para sua utilização (TRANNIN, 2004).

Ao avaliar o potencial do bio sólido como fertilizantes para cultura de milho, Gobbi (2003), observou que quando comparado a adubação química, o bio sólido apresentou maior receita bruta. Porém apesar alcançar maior produtividade física através da aplicação de maior dose de lodo, a receita líquida produzida foi menor.

Da mesma forma, em estudo de relação custo/benefício, concluiu-se que doses elevadas de lodo em cultura de milho, não foi economicamente satisfatória (SILVA et al., 2002c).

4.6 Normas para utilização do lodo

A utilização do lodo de esgoto deve obedecer às normas que definem a qualidade do biossólido, de que forma devem ser estabilizados e desinfetados além das restrições de uso.

A NBR 10004:2004 Tem como objetivo classificar os resíduos sólidos considerando os riscos que implicam ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados de forma adequada.

A Norma Técnica P4.230 – CETESB (1999)“(…) estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais. Aplica-se a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo e refere-se exclusivamente a lodos oriundos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários e industriais. Para fins desta norma os lodos de sistemas de tratamento biológico e os lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários tratados de forma adequada para sua aplicação na agricultura, também denominados biossólidos, conforme definido no item 4, serão denominados simplesmente lodos. A utilização do lodo em áreas agrícolas só será aceita se proporcionar um benefício para a cultura pretendida para o local e forem obedecidos os critérios ambientais estabelecidos nesta norma”

A resolução CONAMA nº 375/2006, de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define critérios e procedimentos, para o uso de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus derivados na agricultura. Toda aplicação ou projeto que contemple a utilização ou aplicação de lodo de esgoto devem seguir esta legislação sob pena de crime ambiental e sanções. Estabelece ainda limites de tolerância para presença de patógenos para os lodos Classe A (coliformes termotolerantes menor que 10³ NMP/g de ST, quantidade de ovos viáveis de helmintos menor que 0,25 ovos/g de ST, ausência de *Salmonella sp* em 10 g de ST e vírus 0,25 UFP/g de ST) e classe B (coliformes termotolerantes menor que 10⁶ NMP/g de ST e quantidade de ovos viáveis de helmintos menor que 10 ovos/g de ST). Observa-se menor tolerância aos lodos de classe A onde há restrições quanto a presença de vírus entéricos e *Salmonella sp* além dos

coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos. A partir de 2011, apenas os lodos de classe A serão permitidos na agricultura brasileira.

O Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) através do Decreto Federal 4.954 de 14/01/2004 e as Instruções Normativas 25 de 23/07/2009 e 27 de 05/06/2006 o possibilita o registro como produto fertilizante orgânico composto classe D para lodo de esgoto e seus derivados. A Instrução Normativa 27, Anexo V especifica limites de tolerância para metais pesados, coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella sp.*

5 METODOLOGIA

5.1 Objeto de estudo

5.1.1 A Estação de Tratamento de Esgoto

O estudo foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada na Fazenda Experimental Lageado, da Sabesp, no município de Botucatu, com área do terreno de 133.000 m², e 3.757m² de área construída (fechada) e 54.073 m² com atividade ao ar livre (Figuras 1 e 2).

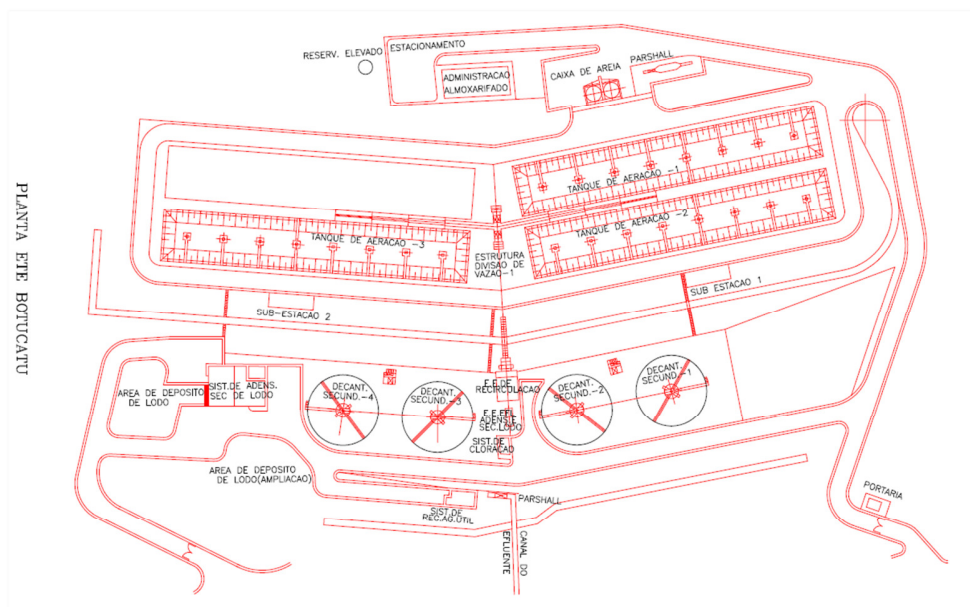


Figura 1 - Planta da ETE Lageado - Sabesp de Botucatu
 Fonte: RMO Sabesp Botucatu



Figura 2 - Vista aérea da ETE
 Fonte: Google Maps, 2015.

Após o processo do tratamento de esgoto, o resíduo final gerado, o lodo de esgoto, passa pela centrífuga de secagem para que o teor de umidade seja reduzido e é posteriormente acondicionado em caçambas (Figura 3). Atingido o limite de 3 caçambas, o lodo fresco é transportado até a estufa de compostagem.



Figura 3 - Saída da centrífuga e acondicionamento do lodo em caçambas
Fonte: Acervo pessoal, 2015.

5.1.2 Estufa de Compostagem

A estufa de compostagem construída dentro da área da ETE Lageado entrou em operação em novembro de 2014. Possui estrutura em alvenaria e metal para cercamento e cobertura. Nesta estrutura também é feita a disposição das leiras, movimentação do equipamento e dispõe de esteira para retirada do composto final (Figuras 4 e 5).



Figura 4 - Estufa de compostagem
Fonte: Acervo pessoal, 2015.



Figura 5 - Vista interna da estufa
Fonte: Acervo pessoal, 2015.

O equipamento utilizado para a secagem e revolvimento do lodo é o K2026 da empresa Brako Ambiental (Figura 6) e a medição de temperatura é realizada diariamente por um funcionário da ETE (Figura 7).



Figura 6 - Equipamento de revolvimento e secagem
Fonte: Acervo pessoal, 2015.



Figura 7 - Medição de temperatura
Fonte: Acervo pessoal, 2015.

5.2 Metodologia de avaliação de custos

O processo de compostagem é realizado por meio do sistema de leiras com revolvimento mecânico. Trata-se de um processo relativamente simples, em que o lodo é depositado diariamente nas leiras. O equipamento de revolvimento passa sobre as leiras promovendo a secagem e quando há material estruturante o processo faz também a mistura do material. O operador posiciona as pás, na leira que será feita a passagem e inicia o processo e acompanha durante o tempo necessário e, ao término, verifica temperatura e umidade das leiras.

Neste estudo foram coletados os dados relativos aos investimentos necessários para preparação da área, aquisição de instalações e maquinário. A partir deste conjunto de bens foram estimados os custos fixos. Os custos variáveis são os custos relativos à energia elétrica, mão de obra, movimentação interna do lodo e o custo de matéria prima que será a fonte de carbono para o processo. Quaisquer outros insumos ou serviços que estavam diretamente ligados ao processo de compostagem tiveram os custos avaliados.

Foram feitas duas avaliações do material final produzido. Foi estimado o custo de produção anual do lodo compostado, com base em um lote de 20 toneladas de lodo fresco adicionado de 20 toneladas de cascas de árvore (lascas) e cinzas oriundas da empresa Duratex como material estruturante, no período de um mês, com revolvimento diário. Para fins de análise foi considerado o volume produzido diário de 16 toneladas com adição de 16 toneladas de material estruturante (casca picada) pelo período de 1 ano. A segunda avaliação foi relativa à produção anual de um composto à base de lodo centrifugado, com revolvimento diário e sem adição de material estruturante, com volume diário de 16 toneladas.

5.2.1 Custos de Produção do Lodo

O custo de produção de lodo será estimado utilizando-se o custo fixo e o custo variável. O custo fixo é o custo relativo aos investimentos realizados, e os custos variáveis são aqueles que dizem respeito às operações de produção e variam conforme o volume produzido.

Os custos fixos são compostos por depreciação, juros e conservação/manutenção dos equipamentos e instalações utilizados no processo de compostagem. Neste estudo os investimentos referem-se ao Secador de Dejetos Orgânicos e Lodo de ETE K2026 da empresa Brako Ambiental, e instalações de alvenaria executadas pela Construrise Engenharia LTDA – EPP.

Utilizou-se o método de depreciação linear, que considera o valor de aquisição, o valor residual e a vida útil do bem. Com base no manual SIAFI da Secretaria Nacional do Tesouro adotou-se o valor residual dos bens de 10% do valor inicial, e com base na Instrução Normativa SRF nº 162 adotou-se a vida útil de 10 anos para máquinas e equipamentos e 25 anos para edificações.

$$D = \frac{Vi - Vf}{n}$$

D = Depreciação

Vi = Valor inicial

Vf = Valor final

n = número de períodos de vida útil estimado

Os juros sobre o capital investido foram estimados conforme mostra a equação abaixo. Atribuiu-se a taxa de juros (r) Selic mensal do ano de 2015, disponibilizada pela Receita Federal, para estimativa de risco equivalente. A taxa utilizada (r), apresentada na Tabela 1, foi aplicado mensalmente sobre o valor médio do bem de capital, pelo período de 1 ano.

$$J = \frac{Vi + Vf}{2} \times r$$

J = Juros

Vi = Valor inicial

Vf = Valor final

r = taxa de juros % a.m.

Tabela 1 - Taxa de juros Selic (2015)

Mês	%
Janeiro	0,94
Fevereiro	0,82
Março	1,04
Abril	0,95
Maio	0,99
Junho	1,07
Julho	1,18
Agosto	1,11
Setembro	1,11
Outubro	1,11
Novembro	1,06
Dezembro	1,16

Fonte: Receita Federal, 2015.

O custo de conservação e manutenção de equipamentos foi estimado como valor de 3% do valor inicial dos equipamentos e instalações ao ano. (HOFFMANN et al., 1987)

O Apêndice 1, (p. 50) apresenta a tabela de cálculo dos custos fixos.

5.2.2 Custos Variáveis

Para estimar os custos variáveis foram detalhadas as etapas do processo. Ao lodo fresco transportado para a compostadeira, foram adicionadas as cascas de árvore, e o revolvimento feito diariamente durante 30 dias. Cada passagem para revolvimento, dura cerca de 5 horas, e as medições de temperatura das leiras, feitas diariamente, duraram pouco menos de 5 minutos. Após analisado o processo, foram definidos itens de custo como matéria prima, fonte de carbono, mão de obra, energia elétrica (utilizada diretamente no processo de compostagem), transporte e movimentação do lodo, foram estimados seus custos.

A matéria prima, o lodo de esgoto, por ser um resíduo até então sem utilização econômica, possui um custo de oportunidade negativo, pois gera custo diário para transporte e disposição em aterro sanitário em Paulínia, no estado de São Paulo.

A estimativa do valor da fonte de carbono utilizada no processo de compostagem com material estruturante foi realizada com base nas informações cedidas pela empresa Duratex de Botucatu, do preço por tonelada de casca picada mais o frete para transporte até a ETE Lageado não considerando o reajuste no preço do material ou do frete durante o período.

Para o custo de mão de obra, foi realizado o levantamento do tempo diário necessário para operar o processo de compostagem. Estas atividades são constituídas por acompanhamento do transporte do lodo, operação da compostadeira e realização de medição de temperatura das leiras. O processo de revolvimento da compostagem ocorre diariamente. O salário base médio do cargo destinado a trabalhar na ETE foi utilizado (não inclusos encargos sociais), uma vez que não é sempre o mesmo funcionário que acompanha o processo.

A energia elétrica utilizada para operação do equipamento é contabilizada no mesmo centro de custo de toda ETE. Não há medição separada do consumo do equipamento. Logo, para estimar o consumo de energia, através da fatura mensal da ETE, foi utilizado o preço médio praticado mês e a mês, o consumo em KWh do equipamento e tempo de funcionamento. O custo mensal foi estimado com base nos consumos de janeiro a dezembro de 2015 (APÊNDICE 2, p.52).

O lodo é transportado dentro da própria ETE até a estufa em caçambas operadas por empresas terceirizadas. Cada caçamba possui capacidade de 5m³, e são utilizadas 3 caçambas por dia para o transporte, durante 30 dias.

5.2.3 Custos de Disposição

O cálculo de disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário, foi realizado com base nos valores pagos mensalmente pela Sabesp para o transporte do lodo até o aterro pela empresa RochaForte e pelo valor cobrado pelo aterro Estre Ambiental SA em

Paulínia para recebimento e disposição em seu espaço. O valor é praticamente constante já que não há alterações significativas na quantidade de lodo produzida por mês.

5.2.4 Valoração econômica dos nutrientes

A partir dos laudos de análise dos lotes produzidos (com e sem material estruturante) que determinam as quantidades de Nitrogênio, Fósforo e Potássio presentes no composto, foi estimado o valor econômico destes materiais como possíveis fertilizantes, utilizando os preços médios pagos pela agricultura para estes nutrientes a partir da base de dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA).

5.2.5 Preços

Todos os valores utilizados são referentes ao ano de 2015.

5.2.6 Viabilidade econômica do lodo compostado e lodo seco

Foram comparados os custos totais de produção dos lotes com adição de material estruturante e com adição de material estruturante ao custo de transporte e disposição no aterro sanitário Estre, em Paulínia, no estado de São Paulo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O lote único com material estruturante produzido pela ETE Lageado correspondeu a 20 toneladas. Para a estimativa anual destes custos, foi utilizada a quantidade produzida diariamente de 16 toneladas. A produção do lodo seco foi também de 16 toneladas de lodo que chegam à compostadeira.

Os custos foram estimados em R\$/ano para ambos os lotes de composto.

Acredita-se que por conta das especificações do equipamento utilizado (Brako Ambiental), tanto o lodo compostado, quanto o lodo fresco secado e revolvido, ficaram menos tempo na estufa que o previsto. A Tabela 2 detalha o processo de obtenção do composto, referente ao volume inicial, tempo de processamento e volume final obtido.

Tabela 2 - Detalhamento do processo de obtenção do composto

	Lote com ME	Lote sem ME
Volume de lodo fresco (t)	16	16
Volume de ME adicionado (t)	16	-
Tempo de processamento (dias)	30	60
Redução do volume inicial ao fim do processo (%)	-	80
Volume final do lote (t)	16	3,2
Lotes de composto produzidos (t)	11	10
Total de composto produzido (t ano ⁻¹)	5.280	960

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

6.1 Custos fixos

Os custos fixos são compostos por depreciação, juros e custo de manutenção das instalações e maquinários diretamente utilizados na produção. O valor licitado e pago à Construrise Engenharia LTDA - EPP para a construção da estufa é de R\$558.937,21. O equipamento de revolvimento e secagem foi comprado da Brako Ambiental por R\$810.000,00.

Para obter os valores da depreciação foram utilizados os índices da do manual SIAFI da Secretaria do Tesouro Nacional e da Instrução Normativa 162/98.

Os valores de depreciação, juros e custos de manutenção e conservação são apresentados na Tabela 3 e foram estimados com base anual. O custo fixo é o mesmo para ambos os processos analisados. O detalhamento deste cálculo encontra-se na no Apêndice 1, p. 50.

Tabela 3 - Custo fixo da estufa de compostagem e equipamento de revolvimento

Juros (R\$)	86.058,24
Depreciação (R\$)	93.021,73
Cons./Manutenção (R\$)	41.068,12
Total custos fixos (R\$ ano⁻¹)	220.148,08

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

6.2 Custos variáveis

Foram considerados como custos variáveis, os custos de movimentação interna do lodo, energia elétrica e mão-de-obra utilizadas diretamente no processo e o material estruturante.

A movimentação interna do lodo da centrífuga até a estufa é feita por meio de empresas terceirizadas, de segunda a sexta. As caçambas utilizadas tem um custo de R\$ 65,80 por unidade e são utilizadas 3 para o transporte de 16 toneladas. O custo mensal do transporte é de R\$ 5.922,00 e o custo anual, de R\$ 71.064,00.

O custo referente à mão-de-obra para operação de produção foi elaborado estimando o salário/hora do operador do equipamento, com base no salário médio pago pelo cargo (funcionários habilitados a trabalhar no tratamento de esgoto), visto que não é sempre o mesmo funcionário que opera o processo. O salário foi estimado em R\$ 15,38 por hora e o tempo de operação do equipamento é de 5 horas diárias, 30 dias por semana, totalizando R\$ 2.307,65 mensais e R\$ 27.691,77 anuais.

Não há medição independente de energia elétrica na estufa. Para estimativa de energia consumida foi utilizado valor médio pago por KWh referente a cada mês e multiplicado pelo consumo de energia do equipamento que é de 45 kWh segundo o manual do fabricante. O custo de energia elétrica foi estimado em R\$37.802,41 anuais, considerando que o equipamento opera 5 horas por dia durante 30 dias mês⁻¹.

O material estruturante, com base nas informações fornecidas pela Duratex de Botucatu, tem custo de R\$ 10 t⁻¹ (casca picada) e o valor do frete aproximado de R\$ 370,00 reais até a ETE Lageado. O custo total deste material, ao ano, é de R\$ 190.800,00. Para o lote de lodo seco, não foi considerado este custo. O lodo de esgoto que passa pelo processo de secagem e revolvimento, também chamado de biossólido, após este processo pode apresentar um material livre de patógenos e com concentrações consideráveis de nutrientes. Na estimativa dos custos variáveis do lote de lodo seco não foi incluído o custo do material estruturante

O lodo de esgoto por tratar-se de um resíduo, foi considerado como custo zero, conforme Tabela 4. Detalhamento no Apêndice 2, p.52. As Figuras 8 e 9 representam graficamente a participação de cada custo envolvido no processo na composição dos custos variáveis dos lotes.

Tabela 4 - Custos variáveis da produção dos lotes de lodo

	Com ME	Sem ME
Lodo	0	0
Mão de obra (R\$)	27.691,77	27.691,77
Movimentação (transporte interno) lodo (R\$)	71.064,00	71.064,00
Energia Elétrica (R\$)	37.802,41	37.802,41
Material Estruturante (R\$)	190.800,00	0
Total custos variáveis (R\$ ano⁻¹)	327.358,19	136.223,72

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

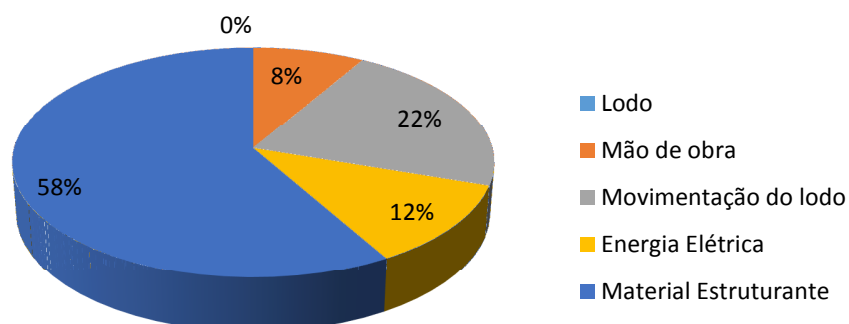


Figura 8 – Participação individual dos itens no custo variável (lote com ME)
Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

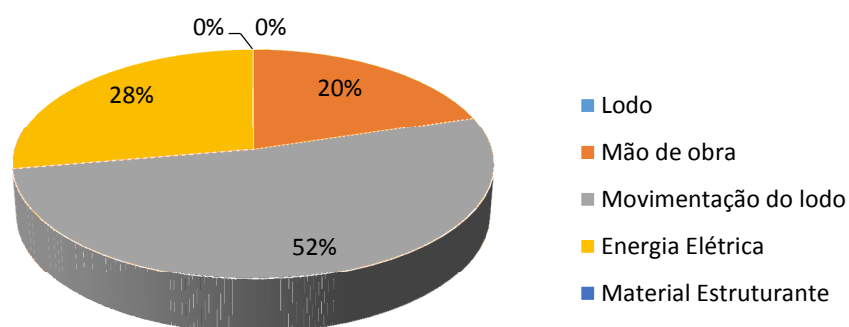


Figura 9 - Participação individual dos itens no custo variável (lote sem ME)
Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

6.3 Custo total

Os custos totais anuais para processamento do lodo com material estruturante e sem, estão apresentados na Tabela 5. As figuras 10 e 11 representam graficamente o impacto dos custos fixos e variáveis no custo total.

Tabela 5 – Custo total do lote produzido com material estruturante (ME)

	Com ME	Sem ME
Volume lodo ETE Lageado Processado (t ano ⁻¹)	5760	5760
Custos fixos (R\$)	220.148,08	220.148,08
Custos variáveis (R\$)	327.358,19	136.550,41
Custo total (R\$)	547.506,27	356.698,49

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

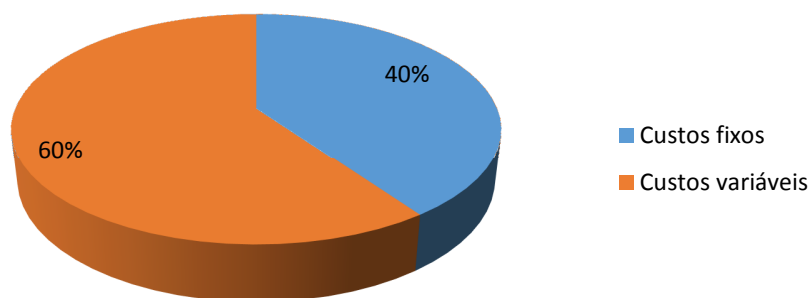


Figura 10 - Participação dos custos fixos e variáveis no custo total (lote com ME)
Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

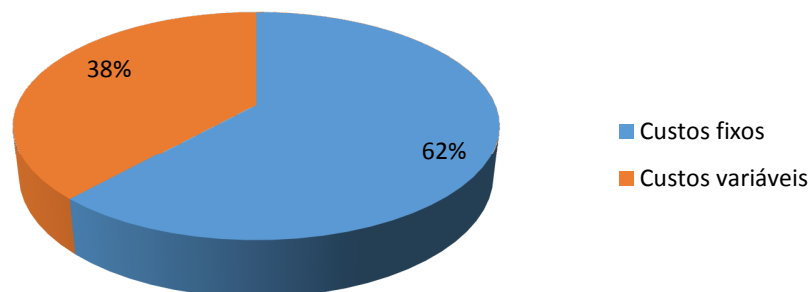


Figura 11 - Participação dos custos fixos e variáveis no custo total (lote sem ME)
Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

6.4 Custo de disposição em aterro sanitário

O transporte do lodo para disposição era realizado quase que diariamente pela empresa RochaForte Saneamento. Por não haver alterações significativas no volume produzido diário pela ETE, considerou-se o valor médio pago de R\$664,50 por caçamba sendo necessárias 3 caçambas/dia para a movimentação do material. Isto equivale a um custo de R\$124,59 t⁻¹. Nos finais de semana, período em que não há transporte, o acumulado seria carregado no próximo dia útil, portanto foram contabilizados 30 dias, 3 caçambas ao dia, 16 toneladas. A disposição final era feita no aterro Estre Ambiental SA, em Paulínia, a um custo de R\$ 130,00 t⁻¹. Portanto o custo total para transporte e disposição é de R\$ 254,59 t⁻¹, totalizando R\$ 1.466.438,40 ano⁻¹ para as 5.760 toneladas produzidas.

6.5 Custo de análise laboratorial

Após comparação de preços, optou-se por realizar a análise das amostras do lodo compostado e seco no Instituto Agrônomo de Campinas. As análises foram feitas de acordo com os parâmetros da Resolução CONAMA 375 e das exigências do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e atenderam a ambas. O custo para análise laboratorial é de R\$ 960,00 por amostra, e foi considerada a realização de uma amostra por mês para cada lote produzido. Portanto para o lote com adição de material estruturante, onde são considerados 11 lotes produzidos, o custo de análise anual corresponde a R\$ 10.560,00. Para o lote sem material estruturante, considerando 10 lotes produzidos em um ano, o custo anual corresponde a R\$ 9.600,00.

6.6 Valoração econômica dos nutrientes

A partir da análise realizada, através dos boletins de análise (APÊNDICE 3, p. 53) foram encontrados os valores presentes de nutrientes, mostrados na Tabela 6 apenas aqueles que serão utilizados para comparação com os utilizados para a formulação de fertilizantes formulados como N, P e K.

Tabela 6 - Resultado da Análise Laboratorial das amostras

Parâmetro	Unidade	Com ME	Sem ME
Nitrogênio Amoniacal	mg de N/kg	7457	8169
Potássio	mg de K/kg	4720	1824
Fósforo	g de P/kg	31,1	24,8

Fonte: Laudos IAC 0663/15, 0664/15, IAC 1810/15 e 1811/15

A Tabela 7 mostra os valores médios pagos pela agricultura, obtidos no banco de dados do IEA, entre 2010 a 2015, para cada nutriente utilizado para formulação.

Tabela 7–Valores médios pagos pela agricultura entre 2010 e 2015

	Nutriente	Preços médios pagos (R\$ t⁻¹)
Uréia	N	1.685,76
Superfosfato	P ₂ O ₅	985,55
Cloreto de Potássio	K ₂ O	1.695,66

Fonte: Informações do mercado (2015); IEA (2010-2015).

Importante frisar que, em virtude do tempo de processamento do lote de composto com material estruturante ser de 30 dias, no período de 1 ano, das 5760 toneladas processadas, seriam obtidas 5280 toneladas de composto final. Deve-se levar em consideração que em virtude da mistura 1:1 de lodo e material estruturante, após ação dos microorganismos na compostagem, não há redução do volume inicial processado.

No lote sem material estruturante, durante os testes realizados, observou-se a redução de 80% do volume inicial do lote processado. Como o tempo de processamento do lodo fresco sem fonte carbono em produto final, é de 60 dias, estimou-se que ao final de um ano, das 5760 toneladas processadas, seriam obtidas 960 toneladas de biossólido.

A partir do valor por kg de nutriente foram estimados os valores econômicos dos nutrientes encontrados nos lotes conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativa do volume total dos nutrientes e valor econômico dos lotes produzidos

	t ano⁻¹		(R\$ ano⁻¹)	
	Lotes com ME	Lotes sem ME	Lotes com ME	Lotes sem ME
Uréia	39,37	7,84	66.373,36	13.220,13
Superfosfato	164,20	23,81	161.835,19	23.463,97
Cloreto de Potássio	24,92	1,75	42.258,56	2.969,17
Total	228,49	33,4	270.467,12	39.653,28

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Foi incluído ao custo final, o custo mensal de análise laboratorial das amostras, e estabelecido o custo anual por tonelada processada e produzida, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Custo final dos lotes produzidos

	Valor (R\$ ano⁻¹)	
	Lotes com ME	Lotes sem ME
Custo total compostagem	547.506,27	355.698,49
Custo análise	10.560,00	9.600,00
Custo final	558.066,27	365.298,49
Custo t ⁻¹ processada	96,88	63,41
Custo t ⁻¹ produzida	105,69	380,51

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Se fosse possível a comercialização destes compostos pela Companhia, com base na porcentagem de nutrientes que possui, o custo de produção anual do lodo compostado com adição de ME seria 80% inferior ao custo de transporte e disposição em aterro, e, no caso do lodo processado sem uso de ME, o custo seria 77% inferior.

Por tratar-se de uma Empresa de economia mista que presta serviços de Saneamento através de Contratos de Programas firmados com cada Prefeitura, a Sabesp não pode gerar receita com a venda do composto. Portanto a Tabela 10 apresenta uma situação hipotética.

Tabela 10– Comparação de custos com inclusão do valor de venda do composto

	Valor (R\$ ano ⁻¹)	
	Lotes com ME	Lotes sem ME
Custo final da compostagem	558.066,27	365.298,49
Valor nutrientes (Receita)	270.467,12	39.653,28
Custo final do composto com a venda	287.599,15	325.645,21

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Ao comparar o custo por tonelada processada, em qualquer uma das modalidades o custo por tonelada será inferior ao custo para disposição em aterro sanitário, mesmo sem considerar a hipotética venda do composto conforme evidenciado nas Tabela 11 e Figura 12. Isto significa que produzir o biossólido, em qualquer um dos processos, com ou sem adição de material estruturante, é mais vantajoso do que a disposição em aterro sanitário.

Tabela 11 - Comparação de custos de compostagem vs. disposição em aterro

Custo R\$ t ⁻¹ processada (com ME)	96,88
Custo R\$ t ⁻¹ processada (sem ME)	63,41
Custo R\$ t ⁻¹ disposição em aterro	259,54

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

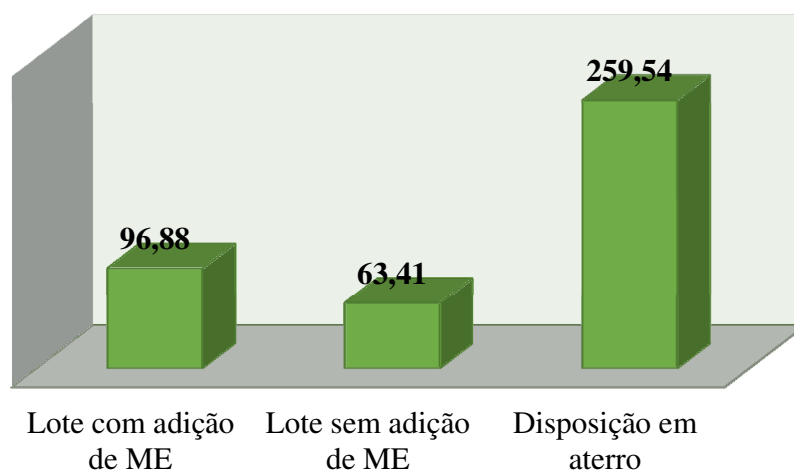


Figura 12 - Custos de compostagem com e sem adição de ME vs. custo disposição em aterro em R\$ t⁻¹

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

A opção de produzir o lodo sem material estruturante mostra-se mais atrativa, já que não haverá custo para compra e transporte deste, sendo o custo final similar àquele com material estruturante, mesmo sem considerar a venda hipotética do composto final.

Apesar de permanecer o dobro do tempo na estufa, comparado ao tempo do composto com ME, o lodo seco representa apenas cerca de 27% do custo de disposição em aterro. Em virtude da redução do volume final produzido, a quantidade de nutrientes é menor e a receita de uma hipotética comercialização não teria impacto significativo no custo final de produção. Porém não é um fator negativo já que o interesse da Companhia não é obter lucro com a venda do composto, e sim, tornar a compostagem uma destinação do lodo ambientalmente correta e economicamente viável comparado ao custo de disposição do lodo fresco em aterro sanitário.

Entretanto, o processo de compostagem com adição de ME, que apresentou um custo 62% inferior ao custo de disposição em aterro e que possui um período de processamento menor, gerou um composto com maior concentração de nutrientes. O estudo de uma logística verde seria ponto importante para redução do custo do material estruturante, se o composto produzido pudesse ser revertido para a própria Duratex, para adubação das plantações de eucalipto. Cabe avaliar também a possibilidade de obter-se outra fonte de carbono em parceria pública ou privada, subsidiada ou com custo reduzido, caso haja interesse em fornecer um produto de qualidade ao pequeno produtor rural ou entidades de pesquisa.

Portanto, seria interessante também um estudo sobre qual a máxima distância economicamente viável para que o interessado retire o lodo na ETE ou para que a Sabesp leve este composto sem ultrapassar uma margem que represente determinada porcentagem do custo de disposição.

O fato de haver um serviço terceirizado dentro da estação para movimentação interna do lodo acaba por elevar o custo de produção. Poderia sugerir-se um projeto para analisar a viabilidade de implantação de tubulações de bombeamento de lodo da centrífuga até a estufa, evitando, por exemplo, que o processo de alimentação das leiras seja interrompido caso haja suspensão do contrato de transporte. Há que se verificar se o custo de energia elétrica para acionamento das bombas seria inferior ao valor mensal pago para o transporte interno.

A Sabesp hoje mantém um diálogo com o MAPA para que o composto produzido possa ser devidamente registrado e distribuído aos produtores ou entidades. Além de se mostrar economicamente viável quando comparado à disposição em aterro é uma alternativa ambientalmente viável. É então possível afirmar que a compostagem ou o revolvimento do lodo fresco, além de papel fundamental na destinação do passivo que é considerado o lodo de esgoto, são opções economicamente viáveis frente ao atual custo de transporte e disposição em aterro sanitário.

7 CONCLUSÃO

A compostagem do lodo de esgoto na estação de tratamento Lageado mostrou-se economicamente viável face ao custo de transporte e disposição do lodo em ambos os processos, independente da receita gerada pela hipótese de comercialização do produto final pela Companhia.

O lodo seco, sem adição de material estruturante representa apenas cerca de 27% do custo de disposição em aterro sanitário.

O lodo compostado, com adição de material estruturante apresenta um custo 62% inferior ao custo de disposição em aterro.

A análise que inclui a valoração econômica dos nutrientes, que mostrou ser possível gerar receita com a venda do composto, independente do método de produção, pode ser um ponto de partida para uma reavaliação do cenário atual que não permite a comercialização do composto pela Companhia.

8 REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C.V. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 444 p.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; CASTRO L. A. Estudo preliminar da viabilidade do uso do lodo de esgoto para fins agrícolas no município de Foz do Iguaçu. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. **Anais...**. Porto Alegre: Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-073.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004**: Resíduos sólidos: classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente: classificação. São Paulo, 2014. 71 p.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: 115 impactos ambientais na agricultura**. Embrapa meio ambiente. Jaguariuna, p. 17-24. 2006b.

BISCAIA, R. C .M.; MIRANDA, G.M. **Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho**. Curitiba: Sanare, 1996. v. 5, Sanare, 89 p.

BRASIL. Decreto Federal n.º 4.954, de 14 de janeiro de 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.º 25, de 23 de julho de 2009**: Aprova as 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. Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.º 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. Brasília, 2006.

BRASIL. Secretaria da Receita Federal do Brasil. **Instrução Normativa n.º 162, de 31 de dezembro de 1998**: Fixa prazo de vida útil e taxa de depreciação dos bens que relaciona. Brasília, 1999.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 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. Brasília, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357, de 17 de Março de 2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 430, de 13 de Maio de 2011**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.

BRASIL. Lei n.º 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, n.5, p. 3, 2007.

BRASIL. Decreto n. 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. Regulamenta a Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 245-A, p. 1-6, 23 dez. 2010. Seção 1.

BRASIL. Decreto n 4.954, de 14 de Janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei n.º 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e

dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 10, p. 2-11, 15jan. 2004. Seção 1.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. Viçosa, v.32, n.4. 2008. <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a03v32n4.pdf>>. Acesso em: 07 abr 2014.

CHENG, H.; XU, W.; LIU, J.; ZHAO, Q.; HE, Y.; CHEN, G. Appllication of composted sewage sludged as a soil amendment for turfgrass growth. **Ecological Engineering**. v.29, p.96-104, 2007.

COGGER, C.G.; FORGE, T.A.; NEILSEN, G.H. Biosolids recycling: nitrogen management and soil ecology. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, n. 4. p. 613–620, 2006.

CORREA, R. S; FONSECA, Y. M. F.; CORREA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p.420-426, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a12.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

DE MARIA, I. C.; KOCSSI, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebe lodo de Esgoto. *Bragantia*, v.66, n.2, p.291-298, 2007.

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biosolid**. EUA, 2002. 201 p.

EUROSTAT **Sewage Sludge production and disposal**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_ww_spd>. Acesso em: 30 ago 2016.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. IN: RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS. n.12. **Elsevier**. p.116-140. 2008.

FARIA, C. Digestão anaeróbia. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/ecologia/digestao-anaerobica/>>. Acesso em: 20 de ago. 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Compostagem familiar**. Brasília: Funasa, 2009. 16 p.

GARAU, M.A.; FELIPO M.T.; RUIZ DE VILLA, M.C. Nitrogen mineralization of sewage sludges in soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 15, n. 3. p. 225–228, 1986.

GERDEBIEN, A. Enviromental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Draft Summary Report 1, Assessment of existing knowledge. Milieu Ltd and WRc for the European Comission.

GOBBI, M. A. **Potencialidade do uso do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes no cultivo do milho (Zeamays L.) no município de Maringá – PR.** 2003. 122p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GOMES, L. P. et al. Critérios de seleção de áreas para reciclagem agrícola de lodos de estações de tratamento de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: RIMA, ABES, p.189-214, 2001.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; SPERLING, M. V. Remoção da umidade em lodos de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final.** UFMG. Belo Horizonte. Companhia de Saneamento do Paraná. 4ª Edição. p.159-259, 2010.

HALL, J.E. Standardising and the management of biosolids the international experience. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p.113-122.

HAUG, R. T. **The Pratical Handbook of Compost Engineering.** 1. ed. USA: Lewis Publishers, 2003. 717 p.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da Empresa Agrícola.** São Paulo: Pioneira, 1987

KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:405-416, 2008.

KUHNEN, Osmar Leonardo; BAUER, UdibertReinoldo. **Matemática financeira aplicada e análise de investimentos.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2001

LEE, E.S.H. Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2, 2011, Londrina-PR. Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu pontencial energético. [S.l.]: [s.n.], 2011. p.1-9.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. da. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de bio sólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1477-1484, 2006b.

LIMA, M.R.P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodos de esgoto.** 2010. 284. Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo . São Paulo, 2010.

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

MACIEL, C.A.C.; SANTOS, A.B.C.R.; ANTÔNIO, F.R.; DUARTE, F.C.; FILHO, M.M. **Reutilização do lodo ETE industrial na cultura de mudas de feijão**. Espírito Santo do Pinhal: UNIPINHAL, 2009. 14 p.

MATSUNAGA, M. et al. **Metodologia do custo de produção utilizada pelo IEA**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 23, t. 1, p. 123-139, 1976.

MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados com bio sólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:67-72, 2004.

MELO, W.J. e MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O.A., eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4. ed. New York: Hill Book, 2003, p.1819.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Wastewater engineering—treatment, disposal and reuse**. 3. ed. New York, USA: McGraw Hill; 1991.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565p.

OLIVEIRA, M. D. M.; VEGRO, C. L. R. Custo de produção e rentabilidade na cafeicultura paulista: um estudo de caso. **Informações Econômicas**, v.34, n.4, p.33-44, 2004.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

PAREDES FILHO, M.V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Agroambiental**. 2011. p.73-80.

PEDROZA, M.M. et al. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Revista Liberato. v.11, n.16, p. 89-188, jul/dez. 2010. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0121121014101925.pdf>>. Acesso em: 09 ago 2014.

PELEGRINO, E.C.F.; FLIZIKOWSKI, L.C.; SOUZA, J.B. de. **Compostagem de lodo de estação de tratamento de esgoto**. In: VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental. Unicentro, 2008.

PENSAMENTO VERDE. Tratamento de resíduos: entenda o uso do lodo de esgoto na agricultura. 2014. Disponível em: <<http://www.pensamento-verde.com.br>>. Acesso em: 30 ago 2016.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem – Processo de baixo custo**. Belo Horizonte: Fundo das Nações Unidas para a Infância, UNICEF, 1996.

PIRES, A.M.M.; MATTIAZZO, M.E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Jaguariúna:EMBRAPA, 2008. 9 p. (Circular Técnica, 19).

Preços médios mensais pagos pela agricultura. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5> Acesso em: 12 set. 2015.

QIN LU, Z.L.He; STOFFELLA, P.J. **Land Application of Biosolids in the USA: A Review**. Hindawi Publishing Corporation. v.2012. 11p.

QUINTANA, N. R. G.. **Análise econômica da aplicação do biossólido na agricultura**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, BotucatuSP, 2006.

QUINTANA, N. R. G.; BUENO, O. C.; MELO W. J. Custo de transporte do lodo de esgoto para viabilidade no uso agrícola. **Revista Energia na Agricultura**, 27:90-96, 2012.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.623-639, 2004.

SAITO, M.L. O uso do lodo de esgoto na agricultura: Precauções com os contaminantes orgânicos. Jaguariúna, **Embrapa Meio Ambiente**, 2007. 36p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 64) Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf>. Acesso em: 14 out. 2015.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **Norma Técnica P4.230: Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: Manual técnico**. São Paulo, 1999.

SÃO PAULO. São Paulo. Decreto nº 8.468, de 08 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado: Executivo**, São Paulo, SP, n. 171, p. 5, 1976.

SILVA, F. C, Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G.A; SILVA, L. Z; CANELLAS, L. P; CAMARGO, F.A de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, p.597-624, 2008.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A. e MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:1-8, 1998.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. e SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biofóssido produzido no distrito federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.497-503, 2002c.

SOARES, E. M. B. **Impacto de aplicações sucessivas de lodo de esgoto sobre os compartimentos de carbono orgânico em latossolo cultivado com milho**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C.V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. UFMG. Belo Horizonte. 4ª Edição. p.13-16, 2010.

TAKAMATSU, A. A. **Avaliação da biolixiviação de metais pesados por bactérias do gênero Thiobacillus em lodos biológicos para utilização agrícola como fertilizante**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G.A.; NOBILE, F.O.; CAMILOTTI, F. e DA SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, 27:276-283, 2007.

TEDESCO, M.J; SELBACH, P.A; GIANELLO, C; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos. In: SANTOS, G.A; SILVA, L.Z; CANELLAS, L.P; CAMARGO, F.A de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, p.13-136, 2008.

TRANNIN I. C. B. **Avaliação agronômica de um biofóssido industrial e de seus efeitos sobre atributos do solo**. 2004. 171p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biofóssidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.69-106, 2000.

TSUTIYA, M.T. Características de biofóssidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, A.P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J. (Ed.). **Biofóssidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001, cap.4, p. 89-131.

TUBAIL, K.; CHEN, L.; MICHEL, F.C. Gypsum additions reduce ammonia nitrogen losses during composting of dairy manure and biosolids. **Compost Science and Utilization**, v.16, n.4, p.285–293, 2008.

VAZ, L.M.S. e GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de *Eucalyptus grandis*: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26:747-758, 2002.

WARMAN, P.R.; TERMEER, W.C. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crops and soils. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 9, p. 1029–1038, 2005.

APÊNDICE 1
TABELAS DE CÁLCULOS CUSTOS FIXOS

BASE DE DADOS PARA CÁLCULO DOS CUSTOS FIXOS				
	Valor inicial	Valor residual	Vida Útil (anos)	Valor final
Equipamento	R\$ 810.000,00	R\$ 81.000	10	R\$ 81.000,00
Estufa	R\$ 558.937,21	R\$ 55.894	25	R\$ 55.894,00

VALORES DEPRECIÇÃO E MANUTENÇÃO		
	Depreciação	Conservação/Manutenção
Equipamento R\$/ano	R\$ 72.900,00	R\$ 24.300,00
Estufa R\$/ano	R\$ 20.121,73	R\$ 16.768,12
Total R\$/ano	R\$ 93.021,73	R\$ 41.068,12

CÁLCULO DOS JUROS SOBRE BENS DE CAPITAL

Jan/15	Taxa (%)	0,94
	Equipamento	R\$ 4.187,70
	Estufa	R\$ 2.889,71
	Total	R\$ 7.077,41
Fev/15	Taxa (%)	0,82
	Equipamento	R\$ 3.653,10
	Estufa	R\$ 2.520,81
	Total	R\$ 6.173,91
Mar/15	Taxa (%)	1,04
	Equipamento	R\$ 4.633,20
	Estufa	R\$ 3.197,12
	Total	R\$ 7.830,32
Abr/15	Taxa (%)	0,95
	Equipamento	R\$ 4.232,25
	Estufa	R\$ 2.920,45
	Total	R\$ 7.152,70
Maio/15	Taxa (%)	0,99
	Equipamento	R\$ 4.410,45
	Estufa	R\$ 3.043,41
	Total	R\$ 7.453,86
Jun/15	Taxa (%)	1,07
	Equipamento	R\$ 4.766,85
	Estufa	R\$ 3.289,35
	Total	R\$ 8.056,20

Jul/15	Taxa (%)	1,18
	Equipamento	R\$ 5.256,90
	Estufa	R\$ 3.627,50
	Total	R\$ 8.884,40
Ago/15	Taxa (%)	1,11
	Equipamento	R\$ 4.945,05
	Estufa	R\$ 3.412,31
	Total	R\$ 8.357,36
Set/15	Taxa (%)	1,11
	Equipamento	R\$ 4.945,05
	Estufa	R\$ 3.412,31
	Total	R\$ 8.357,36
Out/15	Taxa (%)	1,11
	Equipamento	R\$ 4.945,05
	Estufa	R\$ 3.412,31
	Total	R\$ 8.357,36
Nov/15	Taxa (%)	1,06
	Equipamento	R\$ 4.722,30
	Estufa	R\$ 3.258,60
	Total	R\$ 7.980,90
Dez/15	Taxa (%)	1,16
	Equipamento	R\$ 5.167,80
	Estufa	R\$ 3.566,02
	Total	R\$ 8.733,82

APÊNDICE 2
TABELAS DE CÁLCULOS CUSTOS VARIÁVEIS

CUSTO ESTIMADO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BASE NA TARIFA MENSAL

Jan/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,31282344
	Total	R\$ 2.111,63
Fev/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,36202436
	Total	R\$ 2.443,66
Mar/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,36776651
	Total	R\$ 2.482,42
Abr/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,47326853
	Total	R\$ 3.194,56
Mai/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,50704467
	Total	R\$ 3.422,55
Jun/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,51994720
	Total	R\$ 3.509,64
Jul/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,51313433
	Total	R\$ 3.463,66
Ago/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,50507749
	Total	R\$ 3.409,27
Set/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,50119044
	Total	R\$ 3.383,04
Out/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,50318131
	Total	R\$ 3.396,47
Nov/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,52013106
	Total	R\$ 3.510,88
Dez/15	Preço médio (kWh)	R\$ 0,51475812
	Total	R\$ 3.474,62

APÊNDICE 3



INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
 Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
 Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0663/15

BOLETIM DE ANÁLISE**Dados do Interessado:**

Contato: Ana Lúcia
 e-mail: anasilva@sabesp.com.br Fone: (14) 3882-8295
 Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP
 CNPJ 43.776.517/0805-15
 Rua Adolfo Pardini, 555 – Jardim Paraíso
 Botucatu – SP CEP 18610-250

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Lodo; Composto orgânico a base de lodo de ETE.
Data da coleta: 31/03/15 às 14h15min
Origem da amostra: Estação de Tratamento de Esgoto Lageado, Fazenda Lageado – UNESP, Botucatu - SP
Amostra(s) recebida(s) em: 01/04/15 **Data da entrada em análise:** 02/04/15
Amostra coletada: conforme informado pelo interessado, por Ana Lúcia.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Lodo	Data do
Identificação do laboratório:	1003/15	ensaio
Parâmetro	Unidade⁽¹⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	---	6,5
Umidade, a 60 – 65°C	% (m/m)	6,3
Sólidos Totais	% (m/m)	90,7
Sólidos Voláteis	% (m/m)	57,4
Carbono orgânico	g de C/kg	294
Nitrogênio Kjeldahl	g de N/kg	39,4
Nitrogênio amoniacal	mg de N/kg	7457
Nitrogênio nitrato-nitrato	mg de N/kg	337
Bário	mg de Ba/kg	244
Arsênio	mg de As/kg	<1,0 ⁽²⁾
Selênio	mg de Se/kg	<1,0 ⁽²⁾
Mercurio	mg de Hg/kg	<1,0 ⁽²⁾
Potássio	mg de K/kg	4720
Sódio	mg de Na/kg	830

Legenda

- (1) Resultados expressos em base seca.
 (2) Não quantificado, concentração menor do que o limite de quantificação.

Desvios do item de ensaio ou de condições específicas de ensaio: condições normais.

GARANTIA DE QUALIDADE

Este laboratório possui um sistema de qualidade de acordo com a ISO17025:2005 e atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório. Os resultados relatados neste boletim não fazem parte do escopo da acreditação que se encontra sob o número CLR450.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.



INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712

No. 0663/15

BOLETIM DE ANÁLISE**MÉTODO DE ENSAIO**

Para metais: EPA-SW-846-3051a, com determinação por ICP-AES, de acordo com EPA-SW-846-6010c; Para Nitrogênio total: método Kjeldahl; para Carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica,

Para Umidade e Sólidos voláteis: perda de massa a 60 e 500 °C, respectivamente; determinação em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo:água), segundo métodos descritos em "de Andrade, J.C.; de Abreu, M.F. (editores), **Análise Química de Resíduos Sólidos para Monitoramento e Estudos Agroambientais**, Editora IAC, Campinas, 2006, 178 p."

Campinas, 14 de abril de 2015.

Dra. Aline Renée Coscione
IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
CRQ IV – 04236186

Final do boletim

INSTITUTO AGRONÔMICO

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

APÊNDICE 4



INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
 Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
 Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712



No. 0664/15

BOLETIM DE ANÁLISE**Dados do Interessado:**

Contato: Ana Lúcia
 e-mail: anasilva@sabesp.com.br Fone: (14) 3882-8295
 Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP
 CNPJ 43.776.517/0805-15
 Rua Adolfo Pardini, 555 – Jardim Paraíso
 Botucatu – SP CEP 18610-250

Dados da amostra:

Identificação do interessado: Lodo; Composto orgânico a base de lodo de ETE.
Data da coleta: 31/03/15 às 14h15min
Origem da amostra: Estação de Tratamento de Esgoto Lageado, Fazenda Lageado – UNESP, Botucatu - SP
Amostra(s) recebida(s) em: 01/04/15 **Data da entrada em análise:** 02/04/15
Amostra coletada: conforme informado pelo interessado, por Ana Lucia.

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificação do interessado:	Lodo		Data do
Identificação do laboratório:	1003/15		ensaio
Parâmetro	Unidade⁽¹⁾	Resultado	
Alumínio	mg de Al/kg	26857	13/04/15
Boro	mg de B/kg	4,6	13/04/15
Cádmio	mg de Cd/kg	2,2	13/04/15
Cálcio	g de Ca/kg	16,0	13/04/15
Chumbo	mg de Pb/kg	24,0	13/04/15
Cobre	mg de Cu/kg	299	13/04/15
Cromo	mg de Cr/kg	181	13/04/15
Enxofre	g de S/kg	20,2	13/04/15
Ferro	mg de Fe/kg	22334	13/04/15
Fósforo	g de P/kg	31,1	13/04/15
Magnésio	g de Mg/kg	4,3	13/04/15
Manganês	mg de Mn/kg	205	13/04/15
Níquel	mg de Ni/kg	16,9	13/04/15
Zinco	mg de Zn/kg	791	13/04/15

LEGENDAS

(1) Resultados expressos na amostra em base seca.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.



INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
Av. Barão de Itapura, 1481 CEP13020-902 Campinas, SP
Fone: (019) 2137-0646 FAX: (019) 2137-0712



No. 0664/15

BOLETIM DE ANÁLISE

MÉTODO DE ENSAIO

Para metais: EPA-SW-846-3051a, com determinação por ICP-AES, de acordo com EPA-SW-846-6010c.

GARANTIA DE QUALIDADE

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 450

Campinas, 14 de abril de 2015.

Dra. Aline Renée Coscione

IAC – CPD de Solos e Recursos Ambientais
Pesquisadora Científica
CRQ IV – 04236186

Final do boletim

INSTITUTO AGRONÔMICO

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada.

APÊNDICE 5



INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
 Av. Barão de Itapira, 1481 – CEP 13020-902 – Campinas/SP – Brasil
 Tel: (019) 2137-0646 – adm_fertilizantes@iac.sp.gov.br – www.iac.sp.gov.br



BOLETIM DE ANÁLISE

Nº 1810/15

DADOS DO INTERESSADO:

Empresa: Cia de Saneamento Básico do estado de São Paulo-Sabesp
Contato: Ana Lucia Silva
Endereço: R. Adolfo Pardini, 555
Município / UF: Botucatu/SP CEP 18610-250
CNPJ / CPF: 43.776.517/0001-80
Telefone: 14 3882-0404
Email: anasilva@sabesp.com.br

DADOS GERAIS DA(S) AMOSTRA(S):

Tipo: Resíduo
Origem: ETE Lageado, Botucatu/SP
Data Recebimento: 17/11/15
Nome Resp. Coleta: pelo interessado
Data e Horário Coleta: 16/11/15 as 14h30min

IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S):

Número Interno: 3216/15
Identificação especificada pelo Interessado: ETE-Lageado

RESULTADOS:

Amostra Nº

Determinação	Método	Unid. ⁽¹⁾	3216/15	Data Ensaio
Alumínio	(a)	mg/kg	44190	30/11/15
Boro	(a)	mg/kg	209	30/11/15
Cádmio	(a)	mg/kg	4,0	30/11/15
Cálcio	(a)	g/kg	18,4	30/11/15
Chumbo	(a)	mg/kg	20,2	30/11/15
Cobre	(a)	mg/kg	342	30/11/15
Cromo	(a)	mg/kg	142	30/11/15
Enxofre	(a)	g/kg	34,6	30/11/15
Ferro	(a)	mg/kg	41,0	30/11/15
Fósforo	(a)	g/kg	24,8	30/11/15
Magnésio	(a)	g/kg	2,7	30/11/15
Manganês	(a)	mg/kg	211	30/11/15
Molibdênio	(a)	mg/kg	2,0	30/11/15
Níquel	(a)	mg/kg	21,6	30/11/15
Zinco	(a)	mg/kg	568	30/11/15

FQ-RES-008.02

Rev.01

O(s) resultado(s) apresentados refere(m)-se somente à(s) amostra(s) encaminhada(s) ao IAC.
 Reproduções deste documento só tem validade se for na íntegra.
 Amostragem de responsabilidade do Interessado.



INSTITUTO AGRONÔMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos
 Av. Barão de Itapira, 1481 – CEP 13020-902 – Campinas/SP – Brasil
 Tel: (019) 2137-0646 – adm_fertilizantes@iac.sp.gov.br – www.iac.sp.gov.br



MÉTODO(S):

- a. EPA-SW-846-3051, com determinação por ICP-AES, de acordo com EPA-SW-846-6010

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

1. Todos os resultados são expressos em base seca.
2. Não quantificado, menor do que o limite de quantificação.

Campinas, 3 de dezembro de 2015.



Dra. Aline Renée Coscione

Gerência Técnica
 CRQ IV – 04236186

FQ-RES-008.02

Rev.01

*O(s) resultado(s) apresentados refere(m)-se somente à(s) amostra(s) encaminhada(s) ao IAC.
 Reproduções deste documento só tem validade se for na íntegra.
 Amostragem de responsabilidade do Interessado.*

Página 1 de 1

APÊNDICE 6



INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos

Av. Barão de Itapura, 1481 – CEP 13020-902 – Campinas/SP – Brasil
 Tel: (019) 2137-0646 – adm_fertilizantes@iac.sp.gov.br – www.iac.sp.gov.br

BOLETIM DE ANÁLISE**Nº 1811/15****DADOS DO INTERESSADO:**

Empresa: Cia de Saneamento Básico do estado de São Paulo-Sabesp
Contato: Ana Lucia Silva
Endereço: R. Adolfo Pardini, 555
Município / UF: Botucatu/SP CEP 18610-250
CNPJ / CPF: 43.776.517/0001-80
Telefone: 14 3882-0404
Email: anasilva@sabesp.gov.br

DADOS GERAIS DA(S) AMOSTRA(S):

Tipo: Resíduo
Origem: ETE Lageado, Botucatu/SP
Data Recebimento: 17/11/15
Nome Resp. Coleta: pelo interessado
Data e Horário Coleta: 16/11/15 as 14h30min

IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S):

Número Interno: 3216/15
Identificação especificada pelo Interessado: ETE Lageado

RESULTADOS:

Determinação	Método	Unid. ⁽¹⁾	Amostra	
			Nº	Data Ensaio
pH (em água 1:10)	(b)	-	6,4	24/11/15
Umidade, a 60 – 65°C	(b)	%m/m	13,6	26/11/15
Sólidos Totais	(b)	%m/m	87,8	26/11/15
Sólidos Voláteis	(b)	%m/m	48,6	27/11/15
Carbono Orgânico	(b)	g/kg	240	27/11/15
Nitrogênio Kjeldahl	(b)	g/kg	32,9	27/11/15
Nitrogênio amoniacal	(b)	mg/kg	8169	24/11/15
Nitrogênio nitrato-nitrito	(b)	mg/kg	244	24/11/15
Bário	(a)	mg/kg	209	30/11/15
Arsênio	(a)	mg/kg	12,2	30/11/15
Selênio	(a)	mg/kg	12,3	30/11/15
Mercúrio	(a)	mg/kg	<1,0 ⁽²⁾	30/11/15
Potássio	(a)	mg/kg	1824	01/12/15
Sódio	(a)	mg/kg	959	01/12/15

FQ-RES-008.03

Rev.01

O(s) resultado(s) apresentados refere(m)-se somente à(s) amostra(s) encaminhada(s) ao IAC.
 Reproduções deste documento só tem validade se for na íntegra.
 Amostragem de responsabilidade do Interessado.



INSTITUTO AGRÔNOMICO
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais
Laboratório de Fertilizantes e Resíduos

Av. Barão de Itapura, 1481 – CEP 13020-902 – Campinas/SP – Brasil
 Tel: (019) 2137-0646 – adm_fertilizantes@iac.sp.gov.br – www.iac.sp.gov.br

MÉTODO(S):

- a. Metais: EPA-SW-846-3051, com determinação por ICP-AES, de acordo com EPA-SW-846-6010;
- b. Nitrogênio total: método Kjeldahl; Nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito: destilação por arraste a vapor; Carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica, Umidade e Sólidos voláteis: perda de massa a 60 e 500 °C, respectivamente; pH, determinação em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo:água), segundo métodos descritos em “de Andrade, J.C.; de Abreu, M.F. (editores), **Análise Química de Resíduos Sólidos para Monitoramento e Estudos Agroambientais**, Editora IAC, Campinas, 2006, 178p.”

INFORMAÇÕES ADICIONAIS:

1. Todos os resultados são expressos em base seca.
2. Não quantificado, menor do que o limite de quantificação.

Campinas, 3 de dezembro de 2015.



Dra. Aline Renée Coscione

Gerência Técnica
 CRQ IV – 04236186

FQ-RES-008.03

Rev.01

*O(s) resultado(s) apresentados refere(m)-se somente à(s) amostra(s) encaminhada(s) ao IAC.
 Reproduções deste documento só tem validade se for na íntegra.
 Amostragem de responsabilidade do Interessado.*

Página 1 de 1