

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA  
EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL

THAMYLLA RODRIGUES COELHO

MACAÉ - RJ

2019

THAMYLLA RODRIGUES COELHO

LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA  
EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador: Dr. José Augusto Ferreira da Silva

Coorientador: Dr. Marcelo Vizeu Dias

MACAÉ - RJ

2019

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C823e Corrêa, Manon Perdomo.

Estudo de viabilidade para implementação de um centro didático-pedagógico para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos no Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé/Manon Perdomo Corrêa. — Macaé, RJ, 2015.

67 f.: il. color.

Orientador: José Augusto Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Lixo – Eliminação – Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 2. Limpeza urbana – Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 3. Saneamento – Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 4. Laboratórios experimentais – Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 5. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campus Macaé. I. Silva, José Augusto Ferreira da, orient. II. Título.

CDD 628.445098153 23. ed.

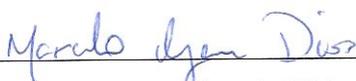
Dissertação intitulada **LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL**, elaborada por **Thamylla Rodrigues Coelho** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 07/08/2019

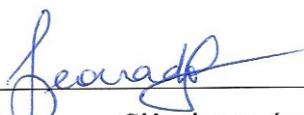
Banca Examinadora:



\_\_\_\_\_  
José Augusto Ferreira da Silva, Doutor em Geografia / Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) - Orientador



\_\_\_\_\_  
Marcelo Vizeu Dias, Doutor em Gestão Ambiental / Universidade Positivo (UP), Instituto Federal  
Fluminense (IFFluminense) - Coorientador



\_\_\_\_\_  
Leonardo Salvalaio Moline, Doutor em Ciências na área de Ensino em Biociências e Saúde /  
Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



\_\_\_\_\_  
Marcos Paulo Figueiredo de Barros, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro  
(UFRJ)

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus amados pais, Maria das Graças e Alcir, aos meus irmãos Guilherme e Gustavo e ao meu anjo Miguel.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar e me dar forças para seguir em frente e passar por todas as dificuldades e momentos de desespero.

A minha família por estarem sempre ao meu lado, por me apoiar e me aturar nos meus momentos ruins.

Aos meus pais, mesmo estando longe por estarem rezando sempre por mim e por entenderem a minha ausência, nesse momento de busca pela realização profissional.

Aos meus irmãos Guilherme e Gustavo pelo carinho, companheirismo e força.

Ao professor e orientador José Augusto Ferreira da Silva por ter acreditado em mim, adotado a ideia do projeto, pela paciência, pelo conhecimento, pelos conselhos, pela confiança e tranquilidade na orientação.

Agradeço as minhas amigas, por me entenderem, pela amizade, pela força, por serem meu porto seguro, ombros e ouvidos nos meus momentos de fraqueza, e transformarem em força para seguir em frente.

A todos meus amigos que de forma direta ou indireta me dão força para seguir sempre em frente.

Aos professores, funcionários e amigos do PPEA que contribuíram para meu crescimento intelectual e pessoal.

**EPÍGRAFE**

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”. (José de Alencar)

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Lagoa com início do tratamento terciário com salvinias.....                  | 15 |
| Figura 2 - <i>Wetland</i> - ETE Ponte dos Leites.....                                   | 15 |
| Figura 3 - Economia de produtos químicos na manutenção de uma ETE ecológica.....        | 16 |
| Figura 4 - Economia de energia na manutenção de uma ETE ecológica.....                  | 16 |
| Figura 5 - Coleta do lodo na ETE Ponte dos Leites - Araruama - RJ.....                  | 27 |
| Figura 6 - Substrato do Parque Municipal de Rio das Ostras - RJ.....                    | 27 |
| Figura 7 - Lodo de esgoto exposto para perda de umidade.....                            | 28 |
| Figura 8 - Sementes de <i>Poecilanthe parviflora</i> (Coração-de-negro).....            | 28 |
| Figura 9 - Sementes de Jatobá escarificadas.....  | 29 |
| Figura 10 - Sementes de <i>Lecythis lanceolata</i> Poir.....                            | 30 |
| Figura 11 - Sementes de abricó selecionadas para a semeadura.....                       | 30 |
| Figura 12 - Sacos plásticos com substrato pronto para semeadura.....                    | 30 |
| Figura 13 - Coração-de-negro e Jatobá sem sintomas de deficiência nutricional.....      | 33 |
| Figura 14 - Intervalos de confiança para as diferenças das médias - Teste de Tukey..... | 36 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Análise parasitológica do lodo de esgoto.....   | 05 |
| Tabela 2 - Metais - Ensaio na massa bruta.....   | 06 |
| Tabela 3 - Quantidade de lodo utilizado para fins agrícolas no Brasil, em 2013.....  | 10 |
| Tabela 4 - Caracterização do lodo de ETE da cidade de Coronel Macedo - SP.....   | 11 |
| Tabela 5 - Nutrientes e matéria orgânica em $\text{mg.kg}^{-1}$ presentes em lotes de lodo de esgoto nas Estações de Tratamentos de Esgoto na área metropolitana do Rio de Janeiro, RJ - Brasil  | 12 |
| Tabela 6 - Estrutura dos motores de busca para composição do referencial teórico.....  | 13 |
| Tabela 7 - Resultados obtidos nos periódicos CAPES.....  | 14 |
| Tabela 8 - Análise de Variância.....   | 31 |
| Tabela 9 - Resultados obtidos na análise (T0 - Testemunha; T1: 25% de lodo + 75% material compostado; T2: 40% de lodo + 60% material compostado; T3: 60% de lodo + 40% material compostado)..... | 33 |

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

IFFluminense - Instituto Federal Fluminense.

PPEA - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Cd - Cádmió

Ni - Níquel

Cr - Cromo

Cu - Cobre

Zn - Zinco

Mn - Manganês

Fe - Ferro

Co - Cobalto

Hg - Mercúrio

Pb - Chumbo

Sn - Estanho

Mo - Molibdênio

V - Vanádio

K - Potássio

Ca - Cálcio

Mg - Magnésio

P - Fósforo

N - Nitrogênio

UFPR - Universidade Federal do Paraná

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

ha - hectare

mg -miligrama

kg - quilograma

GNV - Gás Natural Veicular

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

IN - Instrução Normativa

EPI - Equipamento de Proteção Individual

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CTC - Capacidade de troca de cátions

pH - escala numérica adimensional utilizada para especificar a acidez ou basicidade

SANEAR - Saneamento de Araçatuba S/A

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)

PPP - parceria-público-privada

NBR - Norma Técnica

APA - Áreas de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

APMs - Áreas de Proteção aos Mananciais

ANA - Agência Nacional de Águas

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

SEMAR - Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal

CBH - Comitê de Bacias Hidrográficas

DOE - *Design of Experiments*

ANOVA - A Análise de Variância

# **LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL**

## **RESUMO**

Políticas governamentais e federais dão suporte ao estabelecimento do saneamento básico e propiciam o aumento do volume total do lodo, entretanto não contemplam uma destinação sustentável ao rejeito. Para resolver a questão do lodo, estudos são realizados para assegurar um emprego adequado do resíduo, com retorno ao ciclo produtivo com a finalidade de minimizar os impactos ambientais. No contexto de construção de um país sustentável, a reintegração do resíduo promove a longevidade do aterro municipal, com a contribuição para produção de energia, combustível e a recuperação de áreas degradadas. Ao passar por vários processos, o lodo de esgoto passa a ser chamado de biossólido, nome comum em outros países e motiva estudos para aplicação na agricultura como condicionador e fertilizante do solo. Têm-se como hipótese da pesquisa responder sobre a viabilidade do uso de compostos orgânicos, em conjunto com o lodo na formação de substrato para produção de mudas nativas da mata atlântica, com experimentos de produção da mistura, germinação de sementes, crescimento inicial e avaliação comparativa com substrato convencional. A estratégia utilizada na pesquisa baseia-se em uma pesquisa exploratória descritiva com revisão bibliográfica e execução de experimento comparativo. Os resultados sinalizam que a utilização do lodo é praticável, com experiências válidas em todo o Brasil, além do experimento salientar que seu uso na composição do substrato acarreta aumento na taxa de germinação, quando comparados com substratos convencionais.

**Palavras-chave:** Adubo Orgânico. Biossólidos. Sustentabilidade.

**SEWAGE TREATMENT STAGE SLUDGE (ETE) AND ORGANIC COMPOSTING IN THE CULTIVATION OF NATIVE CHANGES: STUDY IN THE REGION OF LAGOS - RJ - BRASIL**

**ABSTRACT**

*Government and federal policies support the establishment of basic sanitation and increase the total volume of sludge, but do not include a sustainable disposal of waste. To solve the sludge issue, studies are carried out to ensure the proper use of the waste, with return to the productive cycle in order to minimize the environmental impacts. In the context of building a sustainable country, the reintegration of the waste promotes the longevity of the municipal landfill, contributing to the production of energy, fuel and the recovery of degraded areas. By going through various processes, sewage sludge is called biosolid, common name in other countries and motivates studies for application in agriculture as a conditioner and fertilizer of the soil. The research hypothesis is to answer about the viability of the use of organic compounds, together with the sludge in the formation of substrate for production of native seedlings of the Atlantic Forest, with experiments of mixture production, seed germination, initial growth and evaluation. comparative with conventional substrate. The strategy used in the research is based on a descriptive exploratory research with literature review and comparative experiment execution. The results indicate that the use of sludge is practicable, with valid experiences throughout Brazil, besides the experiment emphasizing that its use in the substrate composition causes an increase in the germination rate when compared to conventional substrates.*

**Keywords:** *Organic Fertilizer. Biosolids. Sustainability.*

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS.....   | vii       |
| LISTA DE TABELAS.....   | vii       |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....   | viii      |
| RESUMO.....   | x         |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | xi        |
| APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....  | 01        |
| <b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL.....</b> | <b>02</b> |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 03        |
| 2. MATERIAL E MÉTODO.....   | 12        |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 13        |
| 4. CONCLUSÃO.....   | 17        |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 18        |
| <b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: COMPOSTO ORGÂNICO COM ADIÇÃO DE LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE), GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES DE MATA ATLÂNTICA.....</b>         | <b>24</b> |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 26        |
| 2. MATERIAL E MÉTODO.....   | 27        |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 32        |
| 4. CONCLUSÃO.....   | 36        |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 37        |

## APRESENTAÇÃO

A sociedade busca por melhores condições ambientais e tem exigido que políticas públicas conciliem crescimento populacional e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, as estações de tratamento de esgotos possuem o papel de tratar resíduos anteriores ao retorno a corpos hídricos. No processo de tratamento, a parte líquida é devolvida aos mananciais e o resíduo, lodo de esgoto, sem tratamento e destinação devidos, pode oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas factíveis e sustentáveis, para que se evite um novo problema ambiental.

A aplicabilidade agrícola florestal do lodo consiste em uma opção que manifesta benefícios ambientais quando aferido a outras técnicas de destinação final. No Brasil, a primeira destinação desse resíduo são os aterros sanitários, onde, sepultam a oportunidade de aproveitamento dos nutrientes contidos neste material. O lodo de esgoto vem sendo estudado no Brasil, com foco em sua destinação agrícola, como condicionador do solo, na recuperação de áreas degradadas, em plantações agrícolas e florestais, energia e combustíveis (SAMPAIO, 2013; DOMINGUEZ, 2014; SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017) .

Outro caminho para a utilização desse resíduo pode ser o uso como componente de substratos destinados à produção de mudas florestais, que podem favorecer considerável economia de fertilizantes químicos e aumento do vigor das mudas produzidas. Assim sendo, o uso de biossólidos na produção de mudas florestais pode indicar não meramente uma alternativa de ganho ambiental como também uma vantagem econômica. Devido a sua composição variável, são cruciais as análises sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas, tendo em vista o aperfeiçoamento de táticas para o uso sustentável e com aproveitamento de todas as suas potencialidades.

Buscou-se com a pesquisa avaliar o uso do lodo de esgoto com compostos orgânicos como um dos constituintes do substrato utilizado na germinação de sementes de plantas nativas da Mata Atlântica. O método consiste em uma pesquisa exploratória descritiva com revisão bibliográfica, visita técnica e execução de um experimento comparativo com a produção de um substrato com diferentes concentrações de lodo.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

### **LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E COMPOSTAGEM ORGÂNICA EM CULTIVO DE MUDAS NATIVAS: ESTUDO NA REGIÃO DOS LAGOS - RJ - BRASIL**

*WASTE SEWAGE TREATMENT STAGE SLUDGE (ETE) AND ORGANIC COMPOSTING IN THE  
CULTIVATION OF NATIVE CHANGES: STUDY IN THE REGION OF LAGOS - RJ - BRAZIL*

Thamylla Rodrigues Coelho - IFFluminense/PPEA

José Augusto Ferreira da Silva - IFFluminense/PPEA

Marcelo Vizeu Dias - IFFluminense/PPEA

#### **RESUMO**

O lodo proveniente do tratamento de esgotos é um problema ambiental decorrente de um crescente aumento do volume resultante do tratamento. A disposição do resíduo na agricultura é permitida, graças aos efeitos positivos demonstrados nas pesquisas, em conjunto com procedimentos dispostos pelo Poder Público para seu gerenciamento. O emprego do lodo de esgoto não deve ser referenciado apenas economicamente, uma vez que os ganhos ambientais, agrícolas e sociais são imensuráveis. Buscou-se com a pesquisa realizar uma revisão da literatura sobre a viabilidade de utilização do lodo de esgoto como insumo para composto orgânico na produção de mudas nativas na Região dos Lagos no estado do Rio de Janeiro. O estudo bibliométrico prima por qualidade, abrangência e significância na busca de informações, logo foram destacadas na revisão, os pontos principais para o emprego do lodo, limitações, benefícios, sua importância como ferramenta de auxílio na recuperação de áreas degradadas e substrato florestal, além das experiências bem-sucedidas em diferentes formas de reciclagem. Com a pesquisa foi possível avaliar a viabilidade na utilização do lodo de esgoto como insumo para produção de composto orgânico com a finalidade de produção de mudas nativas. A avaliação teórica permite que se identifiquem os artigos que discorrem sobre o assunto, as experiências bem sucedidas, e identificar possíveis áreas na Região dos Lagos que possam realizar a utilização do bio-sólido.

**Palavras chave:** Sustentabilidade. Adubo Orgânico. Bio-sólido. Mata Atlântica.

### **ABSTRACT**

*Sludge from sewage treatment is an environmental problem due to the increasing volume of sewage treatment. The disposal of waste in agriculture is allowed, thanks to the positive effects shown in the research, together with procedures established by the Government for its management. The use of sewage sludge should not only be referenced economically, as the environmental, agricultural and social gains are immeasurable. This research aimed to perform a literature review on the viability of using sewage sludge as an input for organic compost in the production of native seedlings in the Lakes Region in the state of Rio de Janeiro. The bibliometric study cousin for quality, comprehensiveness and significance in the search for information, were soon highlighted in the review, the main points for the use of sludge, limitations, benefits, its importance as a tool to aid in the recovery of degraded areas and forest substrate, besides of successful experiences in different forms of recycling. With the research it was possible to evaluate the viability in the use of sewage sludge as input for production of organic compost for the purpose of production of native seedlings. The theoretical evaluation allows the identification of the articles that discuss the subject, the successful experiences, and the identification of possible areas in the Lakes Region that may make use of the sewage sludge.*

**Keywords:** *Sustainability, Organic Fertilizer, Biosolids, Atlantic Forest.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A preocupação em relação ao destino final dos efluentes, seu reúso e suas consequências sobre o meio ambiente geram estudos referentes ao tratamento de contaminantes e uma disposição final sustentável de modo a assegurar seu emprego. O lodo de esgoto, se reutilizado, é capaz de aumentar a produtividade das culturas, diminuir a dependência de adubos químicos e minerais, e possibilitar sua conversão em energia (elétrica, biogás, biocombustíveis).

Com aproximadamente 97-98% de água, o lodo "bruto" pode ser definido como o excedente sólido ou semissólido do tratamento de águas residuais, sendo uma mistura com: água, matéria orgânica, resíduos alimentares, micro-organismos (incluindo patógenos) e contaminantes tóxicos, produtos farmacêuticos, sais solúveis, metais e vários elementos químicos (KACPRZAK et al., 2017; FIJALKOWSKI et al., 2017; LIU, 2016).

A destinação na agricultura é uma das alternativas, com a recuperação de áreas degradadas e composição de substratos florestais. A agricultura sustentável promove a recirculação de nutrientes vegetais e as novas tecnologias permitem uma reciclagem completa com redução do risco associado à presença de poluentes (SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017; KIRCHMANN et al., 2017; KACPRZAK et al., 2017).

A geração de lodo aumenta gradativamente e requisita uma preocupação ambiental, tanto pela qualidade do efluente tratado quanto ao gerenciamento de forma correta de seu reprocessamento, para que seja possível o uso de energia ou reciclagem orgânica (KACPRZAK et al., 2017). Cada estação possui um tipo característico de tratamento, de acordo com sua origem, metodologia de tratamento empregado, condições de armazenamento. Na Região dos Lagos, por exemplo, existem Estações de Tratamento de Esgoto como, por exemplo: ETE de Cabo Frio I, com 30% e ETE Saquarema e ETE Ponte dos Leites, com aproximadamente 92% de eficiência, que consiste na retirada de matéria orgânica e nutrientes do efluente (DOMINGUEZ, 2014; ANA, 2017).

A Região dos Lagos conta com o gerenciamento do tratamento de esgoto pela concessionária Prolagos: duas estações em Cabo Frio, uma em São Pedro da Aldeia, uma em Búzios, duas em Arraial do Cabo e uma em Iguaba Grande. Juntas, tratam-se mais de 70 milhões de l/dia de esgoto. Araruama, Saquarema e Silva Jardim são gerenciadas pela Águas de Juturnaíba, com seis ETES totalizando um tratamento de 297 l/s e atendendo aproximadamente 209.520 pessoas (PROLAGOS, 2018; ÁGUAS, 2018).

Com uma produção significativa de lodo de esgoto, a reciclagem agrícola aparenta ser uma destinação promissora, tanto sob o aspecto ambiental, quanto econômico, pois transforma o rejeito em um importante insumo (SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017). Isto posto, buscou-se com a pesquisa realizar uma revisão da literatura sobre a viabilidade de utilização do lodo de esgoto como insumo para composto orgânico na produção de mudas nativas na Região dos Lagos no estado do Rio de Janeiro.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Patógenos**

O lodo de esgoto conta com vários grandes grupos de bactérias e patógenos, e algumas pesquisas discutem sobre a sobrevivência dos patógenos com alteração do pH, temperatura, predação e competição (KACPRZAK et al., 2017). Bonini, Alves e Montanari (2015) avaliaram a influência

do lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de um Latossolo Vermelho degradado com o lodo obtido da SANEAR, no município de Araçatuba – SP (Tabela 1), e obtiveram a seguinte análise parasitológica do lodo.

Tabela 1. Análise parasitológica do lodo de esgoto.

| Helmintos                   | Média                         |           | Total |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------|-------|
|                             | Viáveis                       | Inviáveis |       |
| <i>Ascaris sp.</i>          | 0,04                          | 0,16      |       |
| <i>Trichuris sp.</i>        |                               | 0,24      |       |
| <i>Toxocara sp.</i>         |                               | 0,08      |       |
| <i>Trichuroidea</i>         |                               | 0,04      |       |
| <i>Hymenolepis diminuta</i> |                               | 0,12      |       |
| Total                       | 0,04                          | 0,64      | 0,68  |
| % viabilidade               |                               |           |       |
| Observação                  | Cistos de protozoários = 0,04 |           |       |

Número total de ovos de Helmintos = 0,68 ovos de helmintos por grama de matéria seca; Número de ovos viáveis = 0,04 ovos por grama de matéria seca; Percentual de viabilidade = 0,32%; Metodologia: Scool et al. (2000); O resultado apresenta a média das análises feitas em triplicata. Viáveis - Reprodutivos; Não viáveis - Não reprodutivos.

Fonte: Bonini, Alves e Montanari (2015)

Rossmann et al. (2014), por exemplo, recomendam o quantitativo dos ovos de helmintos como um fator indicativo de condições sanitárias, dado sua maior capacidade de sobrevivência e afirmam, ainda, que a elevação do pH provoca alterações significativas, além de produzir um ambiente adverso para a permanência de patógenos.

Portanto, anterior à inserção do lodo na composição de substratos para plantio, devem ser considerados os critérios de qualidade na precaução de contaminantes e poluentes perigosos para a saúde humana e o meio ambiente, o que mostra a importância de desenvolvimento de tecnologia e novas técnicas de análises que colaborem na identificação de contaminantes (KACPRZAK et al., 2017; FIJALKOWSKI, et. al., 2017).

## 2.2. Metais

Os metais representam a questão frágil no cenário de reciclagem do lodo no solo de forma direta. Os contaminantes inorgânicos não são biodegradáveis e, portanto, podem acumular-se no solo, entrar na cadeia alimentar, causar lesões fisiológicas às plantas, além de colocar em risco à saúde humana (LIU, 2016; FIJALKOWSKI et al., 2017).

Pathak et al. (2009) afirmam que os metais mais comumente encontrados no lodo de esgoto são o: chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn) (apud

CAMARGO et al., 2016) e Fijalkowski et al. (2017) acrescentam o manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), mercúrio (Hg), estanho (Sn), molibdênio (Mo) e vanádio (V), que podem ocorrer em diferentes concentrações, dependendo do pH, umidade, quantidade de matéria orgânica, e suas interações com outros elementos.

De acordo com a legislação, se o metal ultrapassa os limites estabelecidos, o destino do lodo é a incineração ou o aterro, ao invés de ser reutilizado (LIU, 2016). Bonini, Alves e Montanari (2015) realizaram análise do lodo (Tabela 2) utilizado em seu trabalho no laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Tabela 2. Metais – Ensaio na massa bruta.

| Parâmetro        | Unidade | Resultado | Limite máximo |
|------------------|---------|-----------|---------------|
| Arsênio          | mg/kg   | Nd        | 1000          |
| Berílio          | mg/kg   | Nd        | 100           |
| Chumbo           | mg/kg   | 0,97      | 100           |
| Cianeto          | mg/kg   | Nd        | 1000          |
| Cromohexavalente | mg/kg   | 2         | 100           |
| Fenol            | mg/kg   | Nd        | 10            |
| Óleos e graxas   | mg/kg   | 1,3       | -             |
| Mercúrio         | mg/kg   | Nd        | 100           |
| Selênio          | mg/kg   | Nd        | 100           |
| Vanádio          | mg/kg   | Nd        | 1000          |

Métodos de análises baseados na 20ª edição do "Standard methods for the examination of water and wastewater". Análises efetuadas segundo a NBR 10.004 - Resíduos sólidos; Nd - Não detectado; \*Limite para teor de chumbo: compostos orgânicos: 100 mgPb/kg; compostos minerais: 1000 mgPb/kg.

Fonte: Bonini, Alves e Montanari (2015).

Sampaio et al. (2016), por sua vez, avaliaram o potencial de absorção e mobilização de metais no perfil do solo da Mata Atlântica no primeiro ano após a aplicação de biossólidos municipais, e mostrou que a contaminação parece ser irrelevante até a aplicação de  $20\text{mg.kg}^{-1}$ , de forma a comprovar que biossólidos podem ser utilizados de maneira ambientalmente segura sem que os metais se tornem biodisponíveis.

O aumento no teor de matéria orgânica ao realizar metodologias, como a compostagem, pode restringir a disponibilidade dos metais pesados às plantas. Os métodos biológicos são promissores na remoção dos metais, porém exigem elaboração de técnicas ambientalmente e economicamente satisfatória, e um monitoramento em longo prazo é indispensável para verificar os quantitativos dos metais pesados no solo e controlar seus efeitos no solo (LIU, 2016; CAMARGO et al., 2016).

### 2.3. Base Legal e Conceitos Norteadores

A crescente implantação de alternativas para a reciclagem do resíduo formado na fertilização orgânica (MORETTI; BERTONCINI; ABREU JUNIOR, 2015), demonstra a carência de legislações específicas para regulamentar e orientar o uso agrícola do lodo, de forma a certificar a segurança ambiental e sanitária no gerenciamento, uma vez que não há uma lei própria sobre o tópico lodo de esgoto no Brasil.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos de acordo com o processo ou atividade, e o lodo de esgoto constitui um significativo potencial danoso, por apresentar diversos atributos perigosos, que demonstram que o resíduo deve ser tratado e descartado adequadamente.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, é a lei mais recente regulando a disposição de resíduos sólidos (BRASIL, 2010) e sua definição inclui-se o lodo de esgoto, mas não o aborda de forma específica. A Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA prescreve critérios e estratégias para o uso agrícola do lodo de esgoto (BRASIL, 2006c).

A resolução nº 375 disserta exclusivamente sobre o uso do lodo e seus produtos derivados na agricultura, com o objetivo de alcançar os benefícios agrícolas no emprego, de forma a evitar riscos à saúde e ao meio ambiente. A norma proíbe o uso do lodo em pastagens, olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, ou qualquer cultura em que a parte comestível entre em contato com o solo (BRASIL, 2006c).

O anexo I da Resolução disserta sobre os processos obrigatórios para redução dos agentes patogênicos, reduzir a atratividade de vetores e a disseminação de doenças. O documento inclui restrições a respeito das áreas de aplicação, como em: Áreas de Proteção Ambiental - APA, Área de Preservação Permanente - APP, Áreas de Proteção aos Mananciais - APMs, e assim por diante (BRASIL, 2006c).

Existem vários decretos e normativas que se enquadram ao lodo de esgoto. A produção, a compra, a venda, a cessão, o empréstimo ou a permuta do lodo de esgoto e seus derivados seguem o Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), no qual regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe a respeito do comércio de fertilizantes, corretivos e outros produtos destinados à agricultura (BRASIL, 1980), com a finalidade de minimizar os riscos.

A Instrução Normativa (IN) Nº 23, de 31 de agosto de 2005 (BRASIL, 2005), aprova sobre questões de registro, embalagem e a rotulagem dos produtos a base de lodo de esgoto, proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, sendo classificado como composto Classe D. A IN 27 (BRASIL, 2006a) aponta as concentrações máximas admitidas sobre agentes fitotóxicos,

patogênicos, metais, e, sobre os produtos produzidos, importados ou comercializados. A IN 35 (BRASIL, 2006b) destaca a apresentação no rótulo do produto os cuidados com manuseio, especificando utilização de equipamentos mecanizados e uso EPI.

Nos EUA, Canadá, Austrália e Nova Zelândia, os biossólidos tratados são amplamente utilizados em solos, no entanto, a incineração tem sido sugerida como uma alternativa promissora de disposição final. O uso de lodo de esgoto na agricultura varia entre países, na França, Espanha e Reino Unido, por exemplo, a aplicação no solo é amplamente utilizada, a incineração nos Países Baixos e na Suíça, e o aterro na Grécia, Malta e Romênia (FIJALKOWSKI et al., 2017; KIRCHMANN et al., 2017).

#### **2.4. Cultivo de Mudanças Nativas com Biossólidos de Lodo de ETE e Resíduos Orgânicos**

A remediação de danos ocasionados pelas atividades humanas estimula a elaboração de projetos que objetivem recuperar e/ou preservarem biomas e suas características naturais. Com a ampla diversidade edafoclimática do Brasil, são necessários estudos avaliando o desempenho do lodo nas diferentes situações do uso do lodo, de forma a estimular seus benefícios em solos degradados (NOBREGA et al., 2017; SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017).

Bonini, Alves e Montanari (2015) estudaram a recuperação de um Latossolo Vermelho degradado na construção da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira-SP, utilizando-se de lodo de esgoto e adubação mineral. Os resultados obtidos mostraram que o lodo de esgoto influenciou positivamente os atributos químicos dos solos estudados em relação ao pH, capacidade de troca catiônica do solo, matéria orgânica, soma de bases, nutrientes e a dose de  $60\text{mg.kg}^{-1}$  de lodo de esgoto foi o tratamento com melhor resultado pelo incremento de matéria orgânica e bases trocáveis do solo.

Relevantes benefícios no uso agrícola do lodo de esgoto, direcionada para o ramo florestal, consiste principalmente na característica de bioacumulação de metais pesados em sua biomassa, além de algumas espécies não serem destinadas ao consumo humano. Por essa razão, cresce a aplicação de determinados métodos e variados resíduos na formulação de substratos para produção de mudas florestais, com que permitem o uso do lodo de esgoto na produção de mudas nativas que possam auxiliar na recomposição ambiental (CALDEIRA et al., 2014; NOBREGA et al., 2017).

Nobrega et al. (2017) salientam que os conhecimentos a respeito dos efeitos sobre o desenvolvimento de espécies nativas são insuficientes, e destaca a necessidade de estudos que contribuam com metodologias para seu reúso. Silva et al. (2015) avaliaram a produção de mudas de Jsuçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostado, e não verificaram sintomas de toxidez nas plantas e não houve sintoma de deficiência nutricional.

Caldeira et al. (2014) utilizaram lodo de esgoto e resíduos orgânicos na composição de substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. As mudas com 80% de lodo + 20% de palha de café apresentaram os maiores resultados, sendo a composição mais indicada para a produção entre as demais. No trabalho de Trigueiro e Guerrini (2014), o lodo de esgoto foi utilizado na produção de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi.), e a proporção ideal indicada pelos autores deve situar-se entre 40 e 60%, com casca de arroz carbonizada.

Afaz et al. (2017) avaliaram a viabilidade do lodo, proveniente de estação de tratamento de esgoto, como fertilizante alternativo para o cultivo inicial de eucalipto e o resultado obtido mostrou que o lodo possui potencial para substituir fertilizantes minerais convencionais no cultivo inicial de eucalipto.

## **2.5. Uso sustentável**

A solução para a demanda global por energia e matéria orgânica está no emprego dos resíduos orgânicos, diversificação dos combustíveis e produção de energia limpa e renovável, todas sendo formas de controle do aumento do volume de lodo (SYED et al., 2017; KACPRZAK et al., 2017). Grandó et al. (2017) afirmam que a digestão anaeróbica na produção de biogás constitui hoje em uma forma sustentável de uso da biomassa, com recuperação de nutrientes e redução das emissões de gases estufa.

No Brasil, alguns estados se sobressaem na questão da destinação do lodo de esgoto para a agricultura, como a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) com produção estimada de 15.680 toneladas de lodo ao ano (LEITE, 2015), e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), as quais possuem manuais técnicos sobre o uso e manejo adequado do lodo de esgoto em cada etapa do processo.

No Brasil, a parceria entre o Governo do Estado, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) e a Companhia de Saneamento de Maringá-PR promovem o reúso agrícola do lodo, com a distribuição do composto higienizado para vários projetos agrônômicos. Os agricultores destacam que o uso do lodo propicia o aumento de produtividade, redução do custo de produção, melhora na qualidade do solo, uniformidade de produção e aumento de lucro (GLOBONEWS, 2018).

Sampaio (2013) apresenta algumas informações sobre a quantidade de lodo utilizada na agricultura no Brasil (Tabela 3). No estado do Rio de Janeiro não há qualquer normativa para o

tratamento e destinação agrícola do lodo de esgoto, ou seja, resguardado somente pela Resolução n°. 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006c).

Tabela 3. Quantidade de lodo utilizado para fins agrícolas no Brasil, em 2013.

| Local                           | Quantidade    | Teor de Sólidos | Quantidade                    |
|---------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|
|                                 | Toneladas/ano | %               | Toneladas de matéria seca/ano |
| Distrito Federal                | 24.966        | 15              | 3.745                         |
| São Paulo (Franca)              | 16.400        | 27,5            | 4.510                         |
| São Paulo (Jundiaí)             | 21.900        | 18              | 3.942                         |
| Rio Grande do Sul (Santa Maria) | 4.745         | 20              | 949                           |
| Paraná                          | 26.400        | 30              | 7.920                         |
| <b>Total</b>                    | <b>94.411</b> |                 | <b>21.066</b>                 |

Fonte: Sampaio, 2013.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), em Franca-SP, possui um projeto que transforma o lodo de esgoto em combustível. O metano puro, resultante do processo de decomposição e filtragem, pode ser utilizado da mesma forma que o Gás Natural Veicular (GNV), pois a tecnologia é a mesma. Dessa forma, tem uma economia de 1.500 litros de gasolina por dia, pois alimenta os carros de sua frota com o biometano que produz (GLOBONEWS, 2018).

Em Curitiba (PR), uma parceria-público-privada (PPP) resultou em uma Unidade de Tratamento de Esgoto que transforma lodo de esgoto em energia elétrica. O lodo e restos de alimentos são misturados na biodigestão, e convertidos em biogás. A economia de energia elétrica supera um milhão de reais por ano, e a unidade tem a capacidade de produção de cerca de 2,8 Megawatts de energia, correspondente ao consumo de duas mil casas populares (GLOBONEWS, 2018).

As estratégias de um gerenciamento sustentável devem incluir a análise do mercado, a escolha do tratamento de acordo com as condições locais, e uma avaliação dos benefícios e obstáculos. É imprescindível a obrigação de identificar as regiões de maior potencial, aprofundar os estudos logísticos, e apurar a viabilidade de transporte, principalmente se a escolha for o emprego agrícola do lodo (LOMBARDI et al., 2017; ABREU et al., 2017).

## 2.6. Composição dos Biossólidos de ETE e Resíduos Orgânicos

A verificação e a mensuração da composição dos biossólidos e dos resíduos orgânicos é, dessa forma, etapa primordial no entendimento da relação entre os elementos carbono, nitrogênio e fósforo após aplicação no campo ou na estruturação da formulação de um substrato, de forma a contribuir de forma precisa na agricultura e, ou na produção de mudas florestais, como fonte de nutrientes para as plantas e de matéria orgânica para o solo.

Paixão Filho et al. (2014) realizaram um estudo sobre a aplicação do lodo pertencente à ETE da cidade de Coronel Macedo – SP, em roseiras e realizaram sua caracterização (Tabela 4), que indica elementos essenciais para uso agrícola (matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre), além de estar em conformidade com as regras de uso agrícola estabelecidas pelo CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006c).

Tabela 4. Caracterização do lodo de ETE da cidade de Coronel Macedo - SP.

| Parâmetros                                  | Resultados (base seca) | Parâmetros                        | Resultados (base seca) |
|---|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Umidade (% v/v)                             | 70.9                   | Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 84.4                   |
| pH  | 8.1                    | Cromo (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 26.4                   |
| Sólidos Voláteis (% v/v)                    | 5.9                    | Enxofre (g.kg <sup>-1</sup> )     | 10.3                   |
| Sólidos Totais (% v/v)                      | 29.1                   | Ferro (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 19407                  |
| Matéria Orgânica (g.kg <sup>-1</sup> )      | 131                    | Fósforo (g.kg <sup>-1</sup> )     | 3.7                    |
| Nitrogênio amoniacal (mg.kg <sup>-1</sup> ) | 955                    | Magnésio (g.kg <sup>-1</sup> )    | 0.86                   |
| Nitrato – Nitrito (mg.kg <sup>-1</sup> )    | 39.5                   | Manganês (mg.kg <sup>-1</sup> )   | 180                    |
| Nitrogênio Total (g.kg <sup>-1</sup> )      | 14.2                   | Mercurio (mg.kg <sup>-1</sup> )   | < 1.0                  |
| Alumínio (mg.kg <sup>-1</sup> )             | 12175                  | Molibdênio (mg.kg <sup>-1</sup> ) | 0.8                    |
| Arsênio (mg.kg <sup>-1</sup> )              | 3.3                    | Níquel (mg.kg <sup>-1</sup> )     | 6.1                    |
| Bário (mg.kg <sup>-1</sup> )                | 260                    | Selênio (mg.kg <sup>-1</sup> )    | < 1.0                  |
| Boro (mg.kg <sup>-1</sup> )                 | < 1.0                  | Zinco (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 316                    |
| Cádmio (mg.kg <sup>-1</sup> )               | 0.6                    | Potássio (mg.kg <sup>-1</sup> )   | 216                    |
| Cálcio (g.kg <sup>-1</sup> )                | 6.1                    | Sódio (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 585                    |
| Chumbo (mg.kg <sup>-1</sup> )               | 37.5                   |                                   |                        |

Fonte: Paixão Filho et al. (2014)

Rossmann et al. (2014) ressaltam que a aplicação do lodo no solo aumenta a absorção de nutrientes e ganho de produtividade. Camargo et al. (2013) afirmam que o biossólido possui potencial como fonte de matéria orgânica e de nutrientes e contribuem nos teores de nitrogênio, enxofre e micronutrientes foliares. Lousada (2015) reconhece que, além do aumento de pH, saturação por bases, capacidade de troca catiônica, fósforo e cálcio, a aplicação do lodo viabiliza acréscimos na macroporosidade, porosidade total, aeração do solo e maior retenção de água no solo.

Avila et al. (2016) avaliaram o lodo de esgoto no cultivo de capim-limão, e demonstraram

que o aumento do nitrogênio influenciou positivamente na produção de ramos, biomassa, teores de clorofila, rendimento e teor do óleo essencial. Leite (2015) afirma que o potássio, em quantidades modestas no lodo de esgoto, pode apresentar seus teores corrigidos, na adição de resíduos estruturantes vegetais, como o bagaço de cana e podas urbanas.

Camargo et al. (2013) salientam que podem ocorrer resultados conflitantes em relação à acumulação de nutrientes em tecidos de plantas em função da aplicação de lodo de esgoto, entretanto, deve-se considerar a possibilidade de influência de vários fatores como a composição química do lodo, o período de aplicação, as coletas do material para as análises, as características da espécie vegetal estudada e as várias interações externas.

Abreu et al. (2017) analisaram as perspectivas de reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Rio de Janeiro. O alto teor de nutrientes em vários lotes de lodo (Tabela 5) corrobora os resultados obtidos com Paixão Filho et al. (2014) na avaliação com variações estatísticas.

Tabela 5. Nutrientes e matéria orgânica em  $\text{mg.kg}^{-1}$  presentes em lotes de lodo de esgoto nas Estações de Tratamentos de Esgoto na área metropolitana do Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

| STS           | Lote | N     | P     | K    | Ca    | Mg   | MO    | pH  |
|---------------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-----|
| Alegria       | I    | 38,83 | 6,16  | 5,00 | 2,36  | 0,15 | 544,1 | 5,5 |
| Alegria       | II   | 32,94 | 9,56  | 3,99 | 2,11  | 5,45 | 572,8 | 5,1 |
| Barra         | III  | 18,37 | 8,91  | 2,09 | 2,39  | 5,69 | 398,3 | 7,3 |
| Ilha          | IV   | 33,47 | 5,42  | 1,82 | 1,56  | 3,22 | 578,8 | 5,3 |
| Ilha          | V    | 28,78 | 5,22  | 1,57 | 1,74  | 3,22 | 589,4 | 5,0 |
| Ilha          | VI   | 14,24 | 5,53  | 4,01 | 18,51 | 5,83 | 598,7 | 6,5 |
| Sarapuí       | VII  | 42,33 | 17,23 | 2,73 | 1,35  | 2,95 | 515,9 | 6,3 |
| Sarapuí       | VIII | 39,81 | 12,24 | 3,07 | 8,59  | 2,69 | 513,2 | 6,5 |
| Média         | -    | 31,09 | 8,78  | 3,03 | 4,83  | 3,65 | 538,9 | 5,8 |
| Desvio Padrão | -    | 10,17 | 4,24  | 1,21 | 6,01  | 1,93 | 65,3  | 0,9 |

N- método Kjeldhal; P,Ca e Mg - Espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente; K - método por fotometria de chama; MO - método Walkley e Black; pH - H<sub>2</sub>O.

Fonte: Abreu et al. (2017).

Anterior a um programa de reciclagem, é fundamental o conhecimento sobre a composição do material, análise química para quantificar e identificar metais, matéria orgânica, macro e micronutrientes presentes, definir um processo de desinfecção que atenda a legislação e uma demanda regional, para justificar a alternativa (ABREU et al., 2017; NOBREGA et al., 2017).

### 3. MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa está baseada nos métodos exploratório-descritivo com revisão da literatura nas temáticas de higienização do lodo de esgoto por meio da compostagem orgânica. Buscou-se avaliar publicações que descrevessem de forma satisfatória o “estado da arte” das principais pesquisas em torno do tema, primando pela qualidade, abrangência das pesquisas por mineração bibliométrica. A busca pelas publicações de interesse foi localizada por meio de consultas na base de dados do periódico CAPES, sendo considerados os trabalhos publicados do ano de 2013 até o ano de 2017. O período foi preliminarmente estabelecido em conformidade com o objetivo de obter materiais modernos sobre o tema. Os motores de busca estão esquematizados na tabela 1.

Tabela 6. Estrutura dos motores de busca para composição do referencial teórico.

| Motores de busca em inglês  | Motores em Português  |
|---|---|
| (sewage sludge) AND (sustainable final destination) AND agriculture                                 | (lodo de esgoto) AND (destino final sustentável) AND agricultura  |
| (sewage sludge) AND nutrients AND (organic matter) AND pathogens AND (heavy metals) AND agriculture | (lodo de esgoto) AND nutrientes AND (matéria orgânica) AND patógenos AND (metais pesados) AND agricultura |
| (sewage sludge) AND (sewage biogas) AND (gas fuel) AND Biogas AND (power generation)                | (lodo de esgoto) AND (biogás de esgoto) AND (combustível de gás) AND biogás AND (geração de energia)      |
| (sewage sludge) AND nutrients AND (organic matter) AND (native plants)                              | (lodo de esgoto) AND nutrientes AND (matéria orgânica) AND (plantas nativas)                              |

Fonte: A autora, 2018.

A montagem da tabela consistiu na determinação dos conceitos básicos que deveriam ser explorados pela pesquisa, levando em conta, o contexto, o problema da pesquisa e seus conceitos-chave. As palavras-chave selecionadas foram ligadas aos Operadores Lógicos Booleanos “AND” e “OR” para determinar restrições e amplitudes da abordagem temática. Na sequência foram avaliados os resumos localizados, para uma seleção dos assuntos de maior interesse para a pesquisa, de forma a atender tópicos pertinentes à revisão literária (nos debates teóricos-conceituais e legislação), além da visita técnica na estação de tratamento de esgotos ecológica, localizada em Araruama – RJ.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados o total 2.070 artigos (Tabela 2), no periódico CAPES que encontram-se

divididos entre os motores de busca, conforme observado na tabela. Com a pesquisa bibliométrica pode-se avaliar os artigos que debatem tema do lodo de esgoto, em inglês *sewage sludge*. Os estudos sobre o tema são realizados em várias alternativas diferentes de disposição, e a aplicação em alternativas relacionadas à agricultura possui alta representatividade, e de suma importância no contexto da reciclagem.

Tabela 7. Resultados obtidos no periódicos CAPES.

| Motores de busca em inglês  | Quantidade de artigos obtidos | Motores em Português  | Quantidade de artigos obtidos |
|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| (sewage sludge) AND (sustainable final destination) AND agriculture                                 | 58                            | (lodo de esgoto) AND (destino final sustentável) AND agricultura  | 5                             |
| (sewage sludge) AND nutrients AND (organic matter) AND pathogens AND (heavy metals) AND agriculture | 441                           | (lodo de esgoto) AND nutrientes AND (matéria orgânica) AND patógenos AND (metais pesados) AND agricultura | 6                             |
| (sewage sludge) AND (sewage biogas) AND (gas fuel) AND Biogas AND (power generation)                | 889                           | (lodo de esgoto) AND (biogás de esgoto) AND (combustível de gás) AND biogás AND (geração de energia)      | 1                             |
| (sewage sludge) AND nutrients AND (organic matter) AND (native plants)                              | 664                           | (lodo de esgoto) AND nutrientes AND (matéria orgânica) AND (plantas nativas)                              | 6                             |

Fonte: A autora, 2018.

Os artigos foram selecionados previamente pelo conteúdo presente em seu resumo. De forma subjetiva, de 100 artigos que apresentaram conteúdos com a temática: lodo de esgoto. Após a seleção, foi realizado o estudo dos documentos de forma integral para composição da revisão de literatura do presente artigo. Os assuntos abordados são os abordados com maior frequência.

### **Estação de Tratamento de Esgoto de Araruama - RJ**

Em Araruama está localizada a maior estação ecológica de esgotos da América Latina, na região dos Lagos, no Rio de Janeiro. A ETE Ponte dos Leites possui uma capacidade de tratamento de 200 l/s e atende a região central do município. Os processos de tratamento do esgoto não utilizam energia elétrica, não adicionam produtos químicos para tratar a matéria orgânica, apenas plantas que promovem o tratamento terciário. Previamente, as estações elevatórias realizam um tratamento

primário de gradeamento grosso e na chegada da estação, o esgoto passa por uma caixa de areia e um gradeamento fino.

O esgoto segue para uma lagoa de aeração e sedimentação, com a presença de aguapés (*Eichhornia crassipes*), a fixação dos nutrientes pelas plantas se dá pelo princípio químico e as bactérias que se desenvolvem na rizosfera se alimentam e degradam a matéria orgânica contida no efluente (ABREU, 2013) Os aguapés são manejados conforme seu crescimento e manutenção da eficiência do tratamento, além de serem limitadas por ilhas móveis.

Após a lagoa de aeração e sedimentação, o efluente segue para outra lagoa com presença de salvinia (*Salvinia auriculata*). Originária do pantanal, sua função consiste na retirada da matéria orgânica, além do fósforo e nitrogênio, de forma superficial nas zonas de raízes (Figura 1). É indispensável o manejo correto para manutenção da lagoa e a proliferação controlada da planta para melhor eficiência no tratamento. A salvinia não é nativa da Região dos Lagos, por isso é imprescindível manter um berçário para estas plantas, devido sua importância.



Figura 1. Lagoa com início do tratamento terciário com salvinias.



Figura 2. *Wetland* - ETE Ponte dos Leites.

Fonte: A autora, 2018.

A área de *Wetlands* é composta por uma área delimitada em sua borda por papiros (*Cyperus papyrus*) e o plantio de papirinho (*Cyperus prolifer*) - nativa do Egito, Bacia do Rio Nilo e sombrinha chinesa (*Cyperus alternifolius*) - norte da África, em taludes formando corredores para a circulação do efluente, e em seu contínuo crescimento, demanda manejo de podas (Figura 2).

Ao final do tratamento terciário, o efluente atende todas as exigências da legislação para o lançamento em corpos hídricos, porém ainda percorre pela *Wetland* Nativa, composta por plantas que estavam no local anteriormente à implantação da ETE ecológica, de modo a aumentar a eficiência do tratamento.

Ressalta-se que o tratamento é satisfatório comparado a estações convencionais, uma vez que

não há utilização de produtos químicos e a inexistência de odor. A economia da ETE Ponte dos Leites em relação a uma ETE convencional com a mesma capacidade aproxima-se a 75%. Salienta-se que a instalação de uma ETE ecológica necessita de uma área considerável, de modo a depender do volume de tratamento, comparada a ETE convencional, isto é, a disponibilidade de área pode ser um fator limitante.

O custo de instalação pode ser rapidamente diluído, pelo fato do baixo custo de manutenção da ETE, pela economia de produtos químicos (Figura 3) que não são necessários, e consumo de energia elétrica (Figura 4), todos os custos fixos de uma ETE convencional que elevam o custo total do tratamento.



Figura 3. Economia de produtos químicos na manutenção de uma ETE ecológica.

Figura 4. Economia de energia na manutenção de uma ETE ecológica.

Fonte: GloboNews, 2014.

Todo o resíduo de poda e o lodo de esgoto decorrente do tratamento são levados ao pátio de compostagem, e há produção de um substrato de alta qualidade. Por mês são processados aproximadamente 45 toneladas de plantas e 10 toneladas de lodo por semana. O custo do transporte desses resíduos para o aterro seria de aproximadamente R\$16.000,00 reais por mês, entretanto, a ETE destina o substrato para uma empresa de produção de mudas florestais e plantas utilizadas em paisagismo.

### **Uso de substrato de lodo de esgoto em espécies arbóreas da Região dos Lagos**

Nos últimos anos, no estado do Rio de Janeiro, ocorre grande demanda por plantios visando restauração florestal e, conseqüentemente, por mudas de espécies nativas da Mata Atlântica (ALONSO et al.,2014). Para avaliar a potencialidade do lodo de esgoto em mudas da Mata Atlântica,

deve-se estudar o comportamento dessas espécies em cada região.

As várias unidades geomorfológicas do estado proporcionam uma diversidade de paisagens e riqueza de espécies, incluindo várias endêmicas, porém informações, como: taxa de germinação, dormência de sementes, entre outros, são desconhecidas e são necessárias em projetos de restauração florestal. É vital a recomposição de ecossistemas degradados, e isso exige pesquisa sobre o substrato para a germinação, quebra de dormência de sementes, manejo e adaptação da espécie em seu local final (COELHO et al., 2017; ALONSO et al., 2014).

Para o lodo, o fator decisivo em seu emprego são os metais. Com isso, é importante a utilização de espécies que absorvem metais com a finalidade de prevenir o impacto desses elementos no ambiente. Dentre as pesquisas obtidas realizadas no estado do Rio de Janeiro, Sampaio et al. (2016) afirma que as espécies, capixingui (*Croton floribundus* Spreng.), aroeira-pimenteria (*Schinus terebinthifolius* Raddi), canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng.), cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.), mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.) e angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.), copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e jequitibá (*Cariniana estrellensis* Raddi.), não apresentaram efeito significativo sobre as concentrações de metais no solo com a aplicação do bio sólido.

Recomenda-se o emprego do lodo em espécies nativas, em virtude da importância da recuperação de áreas degradadas e recuperação de recursos naturais, o que atualmente é o recomendado para o estado do Rio de Janeiro. Pode-se ter também um ganho ambiental com o cultivo de espécies nativas com potenciais diversos, que possuam respostas positivas ao uso do bio sólido e a fertilização dos solos pelo alto potencial nutricional existente no composto.

## 5. CONCLUSÃO

Na procura de uma destinação pertinente ao lodo, a agricultura se manifesta como a resposta predominante para o uso do resíduo, todavia necessita de planejamento apropriado para que atenda a demanda definida. O levantamento bibliométrico propicia constatar que a pesquisa gradualmente obtém metodologias viáveis que promovem um bio sólido seguro, confiável e de qualidade, que a demanda carece. As inovações tecnológicas são determinantes para assegurar a sustentabilidade na reciclagem do resíduo com resultados econômicos, sociais e ambientais.

No presente estudo, as contribuições para levantamento do estado da arte e a estratégia para reciclagem do lodo de esgoto foram alcançadas neste estudo. Conclui-se que com a verificação de experiências bem-sucedidas em todo o país, que pode-se promover e incentivar o estudo do emprego

do bio sólido na Região dos Lagos, uma vez que existe material disponível, pela quantidade de ETEs espalhadas por toda a região (13 estações, no total). Sugere-se estudos para um entendimento amplo e dinâmico sobre o lodo aplicado em mudas nativas da Mata Atlântica e como matéria-prima para obtenção de novas formulações de substratos.

Com a visita técnica na ETE ecológica de Araruama - RJ foi possível constatar a possibilidade de obtenção de um efluente com qualidade igual a muitas ETEs convencionais, com um custo de manutenção menor além do ganho ambiental incorporado com potencial para utilização na fabricação de substratos a base de lodo de esgoto. A visita confirma a perspectiva de que podemos optar por técnicas para aplicação do lodo em diversas áreas associadas à agricultura, pois todo subsídio disponibilizado como conhecimento científico pode ser empregada como um artifício estratégico ou uma ferramenta útil tanto para o poder público ou privado da Região dos Lagos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. S. Implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes na Comunidade Rural da Seção Jacaré do Município de Francisco Beltrão. 2013. 87 f. **Dissertação (mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.** Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Pato Branco, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/454/1/PB\\_PPGDR\\_M\\_Abreu%2C%20Potira%20Soares%20de\\_2013.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/454/1/PB_PPGDR_M_Abreu%2C%20Potira%20Soares%20de_2013.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2018.

ABREU, A. H. M. et al. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n.4, suplemento 1, p. 2433 - 2448, 2017. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/articloe/view/27675>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

AFAZ, D. C. S. et al. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol.12, num.1, jan - fev, 2017, pp.112-123. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=5&script=sci\\_arttext&pid=S1980993X2017000100112&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=5&script=sci_arttext&pid=S1980993X2017000100112&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 30 jun. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) - MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Atlas Esgotos -** Despoluição de Bacias Hidrográficas. Relatório de esgotamento sanitário municipal, BRASIL - 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

ÁGUAS de Juturnaíba: **Estação de tratamento de esgoto**. 2018. Disponível em: <<https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-juturnaiba/agua-e-esgoto/estacao-de-tratamentodeesgoto/>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

ALONSO, J. M. et al. Avaliação da diversidade de espécies nativas produzidas nos viveiros florestais do estado do Rio de Janeiro. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 369 - 380 jul/set. 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/31910/23186>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004** - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<http://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

AVILA, J. V. et al. Essential oil production of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under organic compost containing sewage sludge. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.20, n.9, p.811-816, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662016000900811](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000900811)>. Acesso em: 29 jun. 2018.

BONINI, C. S. B; ALVES, M.C; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 19, n° 4, p. 388-393, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/128266>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. **Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o Regulamento da Lei nº 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. Poder Executivo, Brasília, DF. 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº.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. Poder Executivo, Brasília, DF. 2005.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006**. Poder Executivo, Brasília, DF. 2006a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16republicada->

em-2-5-16.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006**. Poder Executivo, Brasília, DF. 2006b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 ago. 2006c. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acesso em: 29 jun. 2018.

CALDEIRA, M. V. W et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando Lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 195 - 206. abr/jun. 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/30170>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

CAMARGO, F. P. et al. Removal of Toxic Metals from Sewage Sludge Through Chemical, Physical, and Biological Treatments - a Review. **Water Air Soil Pollut** p. 227 - 433 (2016). Disponível em: <<https://link-springer-com.ez135.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11270-016-3141-3>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

CAMARGO, R. et al. Diagnose foliar em mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) produzidas com biossólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 17, n. 3, p. 283-290, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=4&script=sci\\_arttext&pid=S141543662013000300006&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=4&script=sci_arttext&pid=S141543662013000300006&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 27 jun. 2018.

COELHO, M. A. N. et al. Flora do estado do Rio de Janeiro: avanços no conhecimento da diversidade (*Flora of Rio de Janeiro state: an overview of Atlantic Forest diversity*). **Rodriguésia** 68(1): 001-011. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rod/v68n1/2175-7860-rod-68-01-0001.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

DOMINGUEZ, D. X. Avaliação dos riscos ambientais associados à utilização agrícola do lodo de esgoto como condicionador e fertilizante de solo. **Tese (Doutorado em Ciência Ambiental)** –

**Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental** - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - SP. 2014. 116f. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-21122017105752/en.php>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

FIJALKOWSKI, K. et al. The presence of contaminations in sewage sludge - The current situation. **Journal of Environmental Management** n° 203 p.1126 - 1136 (2017). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez135.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479717305418?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

GLOBONEWS. Cidades e Soluções. **A maior estação ecológica de esgotos do Brasil**. 14. Ago. 2014. Disponível em: <<https://globosatplay.globo.com/globonews/v/3562586/>>. Acesso em 23 mai. 2018.

GLOBONEWS. **Cidades e Soluções**. Brasil trata menos da metade do esgoto que gera. 30. Abr. 2018. 21min. Disponível em: <<https://globosatplay.globo.com/globonews/v/6701890/>>. Acesso em: 26 mai. 2018.

GRANDO, R. L. et al. Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 80 p. 44-53 (2017). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307074>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

KACPRZAK, M. et al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental Research** n° 156 p. 39-46 (2017). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez135.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0013935117304322>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

KIRCHMANN, H; BORJESSON, G.; KATTERER, T. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. **Ambio** (2017) 46: 143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13280-016-0816-3>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

LEITE, T. A. **Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para uso Agrícola**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, SP. 2015. 186p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-02122015-142451/pt-br.php>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

LOMBARDI, L. et al. Environmental comparison of alternative treatments for sewage sludge: An Italian case study. **Waste Management** n° 69 p. 365-376 (2017). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17306189?via%3Dihub>>. Acesso em:

29 jun. 2018.

LOUSADA, L. L. **Nutrição e crescimento de sorgo sacarino e alterações nos atributos do solo pela aplicação de lodo de esgoto doméstico.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos/RJ, 2015. 108f. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2015/11/Tese-Lidiane-de-Lima-Lousada-vers%C3%A3o-impressa.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

LIU, H. T. Achilles heel of environmental risk from recycling of sludge to soil - As amendment: a summary in recent ten years (2007–2016). **Waste management** n° 56 p. 575-583 (2016). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez135.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S095605X16302604?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I; ABREU JUNIOR, C. H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de Lodo de esgoto em nitossolo háplico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n° 39 p.1796-1805, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n6/0100-0683-rbcs-39-6-1796.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

NOBREGA, M. A. D. S.; PONTES, M. D. S.; SANTIAGO, E. F. Incorporação do lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas nativas. **Acta Biomedica Brasiliensia** - v.8, n. 1. p: 43 - 55. Jul - 2017. Disponível em: <<http://www.actabiomedica.com.br/index.php/acta/article/view/164>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

PAIXÃO FILHO, J. L. D. et al. Use of stabilization pond sludge in cultivation of roses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.18 n° 1, p. 85-89, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662014000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000100011)>. Acesso em: 27 jun. 2018.

PATHAK, A.; DASTIDAR, M. G.; SREEKRISHNAN, T. R. Bioleaching of heavy metals from sewage: a review. *Journal of Environmental Management*, 90, 2343-2353. (2009). In: CAMARGO, F. P.; et al. Removal of Toxic Metals from Sewage Sludge Through Chemical, Physical, and Biological Treatments - a Review. **Water Air Soil Pollut** p. 227 - 433 (2016). Disponível em: <<https://link-springer-com.ez135.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11270-016-3141-3>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

PROLAGOS: **Sistemas de coleta e tratamento de esgoto.** 2018. Disponível em:

- <<http://www.prolagos.com.br/sistemas-de-coleta-e-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em: 02 jul. 2018.
- ROSSMANN, M. et al. Redução da Viabilidade de ovos de helmintos em Lodo de esgoto domestico caleado. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, V.22 N.1, Jan/ Fev, p. 43 - 49, 2014. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/20284>>. Acesso em: 28 jun. 2018.
- SAMPAIO, A. O. Afinal, Queremos ou não Viabilizar o Uso Agrícola do Lodo Produzido em Estações de Esgoto Sanitário? Uma Avaliação Crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE** n° 193. Ano 2013.
- SAMPAIO, T. F. et al. The Impact of Biosolid Application on Soil and Native Plants in a Degraded Brazilian Atlantic Rainforest Soil. **Water Air Soil Pollut** (2016) 227: 1. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez135.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11270-015-2689-7>>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- SILVA, F. A. M. et al. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, p. 109-121, 2015. Disponível em: <<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/259>>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Sewage sludge: guidelines and its use as fertilizer, soil conditioner and forest substrate - Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.19, n.3, p. 171-186, set./dez. 2017. Disponível em: <<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/7587>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- SYED S. A. et al. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 80 (888-913), 2017. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez135.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032117309036?via%3Dihub>>. Acesso em: 02 jul. 2018.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista árvore**, Viçosa/MG, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=3&script=sci\\_arttext&pid=S010067622014000400009&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?frbrVersion=3&script=sci_arttext&pid=S010067622014000400009&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 30 jun. 2018.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### COMPOSTO ORGÂNICO COM ADIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE), GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES DE MATA ATLÂNTICA

*ORGANIC COMPOUND WITH ADDITION OF SEWAGE SLUDGE OF SEWAGE TREATMENT STATION (STS), GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF ATLANTIC FLOREST SPECIES*

Thamylla Rodrigues Coelho - IFFluminense/PPEA

José Augusto Ferreira da Silva - IFFluminense/PPEA

Marcelo Vizeu Dias - IFFluminense/PPEA

#### RESUMO

O lodo resultante do tratamento das águas residuárias é um tema a ser discutido e pesquisado para soluções tecnológicas alternativas para o uso sustentável dos recursos naturais. Na busca por soluções corretas para a destinação do lodo de estações de tratamento de esgoto, pesquisam-se as aptidões do uso de material resultante na aplicação agrícola transformando rejeito em matéria-prima, de modo a possibilitar a resposta para seu destino final, e conseqüentemente a inclusão de um valor socioeconômico e ambiental. Buscou-se com este estudo avaliar a emprego de substratos à base de lodo de esgoto com o intuito de a produção de mudas de *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá), *Lecythis pisonis* (Sapucaia) e *Mimusops coriacea* (Abriçó-de-praia) em diferentes quantidades, aferir o desempenho em comparação às mudas produzidas em substrato composto apenas por poda de árvore, o que é frequentemente utilizado pelo Parque Municipal de Rio das Ostras (RJ), sem adições comerciais. Em um segundo momento, constatar possíveis sintomas de deficiências nutricionais no momento do crescimento incipiente, e para tal, foram experimentados três níveis de dosagem de lodo: 25%, 40% e 60% de lodo seco em soma com o material compostado, formado por uma combinação de terra e poda de árvore na fração (1:1). Foram mensurados o percentual de germinação e a altura das plantas (com raiz e sem raiz). A metodologia utilizada na pesquisa contempla o teste de comparação de médias de Tukey no nível de 0,05 de probabilidade e o guia para planejamento de experimentos de Montgomery. Os resultados foram variados, uma vez durante o período de germinação, três espécies germinaram e uma não. Os resultados demonstraram que o percentual de germinação e o índice de velocidade de germinação foram afetados

positivamente pelo acréscimo do lodo de esgoto ao material do Parque, nas espécies que apresentaram emergência. A testemunha e o tratamento T3 (60% de lodo + 40% material compostado) da espécie *Poecilanthe parviflora* demonstra uma diferença significativa no teste de Tukey, de modo a confirmar que o acréscimo de lodo foi benéfico à germinação das mudas de Coração-de-negro com uma taxa de germinação de 90%.

**Palavras chave:** Viveiro. Biossólido. Resíduos. Desenvolvimento Inicial.

### **ABSTRACT**

*Sludge resulting from wastewater treatment is a topic to be discussed and researched for alternative technological solutions for the sustainable use of natural resources. In the search for correct solutions for sewage sludge disposal, the skills of the use of material resulting in the agricultural application are turned turning waste into raw material, in order to allow the answer to its final destination, and consequently the inclusion of a socioeconomic and environmental value. This study aimed to evaluate the use of substrates based on sewage sludge in order to produce seedlings of *Poecilanthe parviflora* (Black Heart), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá), *Lecythis pisonis* (Sapucaia) and *Mimusops coriacea* (Abricó-de-praia) in different quantities, to measure the performance compared to seedlings produced in substrate composed only of tree pruning, which is often used by Rio das Ostras Municipal Park (RJ), without commercial additions. Secondly, to detect possible symptoms of nutritional deficiencies at the time of incipient growth, and for this, three levels of sludge dosage were tested: 25%, 40% and 60% of dry sludge in addition to the composted material, formed by a combination of earth and tree pruning in the fraction (1:1). Germination percentage and plant height (root and rootless) were measured. The methodology used in the research includes the Tukey mean comparison test at the 0.05 probability level and the Montgomery experiment planning guide. Results were varied, once during the germination period, three species germinated and one did not. The results showed that the germination percentage and germination speed index were positively affected by the addition of sewage sludge to the material of the Park, in the species that presented emergence. The control and T3 treatment (60% sludge + 40% composted material) of the *Poecilanthe parviflora* species showed a significant difference in the Tukey test, confirming that the addition of sludge was beneficial to the germination of the seedlings with a germination rate of 90%.*

**Keywords:** Nursery. Biosolid. Residues. Initial Development.

## 1. INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um material constituído da parte sólida do esgoto após sofrer um processo de estabilização, de origem doméstica, industrial ou agroindustrial, rico em matéria orgânica, o que torna seu tratamento indispensável a fim de evitar problemas ambientais, principalmente com a contaminação do solo e da água (FARIA et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2014; AFAZ et al., 2017).

A destinação final pertinente do lodo de esgoto é uma fase crucial no procedimento operacional de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Na procura de mínimo impacto ambiental com soluções ambientalmente corretas na disposição adequada dos resíduos originados nas cidades, buscam-se possibilidades para seu uso em especial as universidades e instituições de pesquisa, em conjunto com as empresas geradoras do lodo (SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017; SCHEER et al., 2013).

De acordo com o Instituto Trata Brasil, na consolidação das informações obtidas entre os anos de 2015 a 2018, somente 52,36% da população têm acesso à coleta de esgoto, sendo que a região Sudeste apresenta o maior índice de coleta, com 78,56%, contudo, seu índice de tratamento é de 50,39%. A Agência Nacional de Águas (ANA), no Atlas de Esgotos com base em dados de 2013, afirma que o índice médio de tratamento, ou seja, com coleta e com tratamento de esgoto da Região dos Lagos (RJ) é de 53,9% (TRATA BRASIL, 2019; ANA, 2019).

Com um volume alto de tratamento, temos por consequência o aumento no volume do lodo e esse despacho para o aterro é um procedimento dispendioso que move pesquisas associadas a uma mais razoável destinação, e o fato de alguns insumos para a manufatura de alguns substratos para produção de mudas florestais estarem escassos e onerosos em algumas regiões, pode indicar um emprego razoável ao lodo. Nessa perspectiva devem-se aumentar os estudos em analogia às formulações, a fim de evidenciar novas possibilidades para a geração de mudas, como uma escolha viável, para que se resolva tanto a conjunto de questões da destinação, quanto a falta de matéria-prima (SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017; CALDEIRA et al., 2014; KRATZ; WENDLING, 2013).

No presente estudo buscou-se avaliar a utilização de substratos à base de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá), *Lecythis pisonis* (Sapucaia) e *Mimusops coriacea* (Abricó-de-praia) em diferentes quantidades, comparar o desempenho em relação a mudas produzidas em substrato utilizado pelo

Horto Municipal de Rio das Ostras (RJ), sem adições comerciais e identificar sintomas de deficiência nutricional.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi realizado no Parque Municipal de Rio das Ostras, na localização 22°45'58" de latitude sul e 41°87'99" de longitude oeste, e altitude média de 4m, no município de Rio das Ostras, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, de março a maio de 2019. A Região Hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras (RH-VIII), apresenta clima tropical úmido (Aw) e clima tropical de altitude com verões quentes (Cwa), com uma precipitação entre 1.100 a 1.500mm (CBH MACAÉ OSTRAS, 2019).

O lodo de esgoto utilizado na formulação dos substratos foi doado pela empresa Águas de Juturnaíba, concessionária do Grupo Águas do Brasil e coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Ponte dos Leites, localizada no município de Araruama, Região dos Lagos do Estado do Rio de Janeiro. A ETE realiza um tratamento de esgoto doméstico, portanto livre de metais em sua composição (conforme informado por responsáveis pela ETE), e seu tratamento mescla etapas do sistema convencional e o sistema ecológico, que resulta em um sistema *Wetland* (Figura 5).

O substrato de poda de árvores, por sua vez, foi doado pelo Parque Municipal de Rio das Ostras. O material é constituído por uma mistura de proporção 1:1 de poda das árvores do local e terra existente no local, sendo constantemente utilizado na produção de mudas, após o processo de compostagem (Figura 6).



Figura 5. Coleta do lodo na ETE Ponte dos Leites - Araruama - RJ.



Figura 6. Substrato do Parque Municipal de Rio das Ostras - RJ.

Fonte: A autora, 2019.

Anterior à mistura do lodo de esgoto e o composto orgânico, o lodo de esgoto necessitou perder umidade, e, portanto ficou exposto a pleno sol, em ambiente aberto no Instituto Federal Fluminense em Macaé - RJ, por sete dias - entre os dias 13/03/2019 à 20/03/2019, de modo a receber luz solar e ação do vento. A temperatura nos dias de secagem variou entre 22°C a 28°C (Figura 7).



Figura 7. Lodo de esgoto exposto para perda de umidade.

Fonte: A autora, 2019.

As espécies utilizadas foram *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá), *Lecythis pisonis* (Sapucaia) e *Mimusops coriacea* (Abricó-de-praia), foram obtidas mediante doação.

O coração-de-negro é uma planta indicada para fabricação de móveis e carpintaria; na construção civil e em estruturas externas. A lenha é de ótima qualidade, ardendo mesmo quando verde. Suas sementes (Figura 8) não apresentam dormência.



Figura 8. Sementes de *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro).

Fonte: A autora, 2019.

A árvore, graças à sua folhagem verde-escura reluzente, pode ser empregada com sucesso no paisagismo, sua madeira é muito pesada, de alta resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins de madeira seca. Ocorre principalmente nos estados do sudeste, avançando para os estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MORAES, 2007; LORENZI, 1992; REYES, [201-]). O Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) contém uma madeira de qualidade para emprego na construção civil, e seus frutos possuem uma farinha comestível, consumida tanto pelo homem, quanto pelos animais silvestres, sendo utilizada em sistemas agroflorestais e programas de reflorestamento para recuperação ambiental. Por esses motivos merece estudos de aprimoramento das técnicas de produção para sua utilização (LORENZI, 1992; COSTA et al., 2011; SAMPAIO et al. 2015).

Anterior à sementeira, as sementes foram submetidas a tratamento pré-germinativo. Para facilitar a germinação das sementes, torna-se necessário a escarificação (Figura 9). A extração das sementes foram feitas com a quebra dos frutos e realizada a escarificação lixando as sementes no lado oposto ao hilo, segundo ANDRADE et al. (2010).



Figura 9. Sementes de Jatobá escarificadas.

Fonte: A autora, 2019.

A sapucaia (*Lecythis lanceolata* Poir.) (Figura 10) é recomendada para reflorestamentos com fins preservacionistas, possui várias utilizações para a construção civil, e são encontradas indivíduos do Rio de Janeiro a Pernambuco na mata pluvial Atlântica (LORENZI, 1998).

O abricó-de-praia (Figura 11) é uma espécie exótica comumente encontrada no litoral brasileiro de frutos com cor amarela e que se encontra em vários estados do Brasil (LAZARINI, 1998).



Figura 10. Sementes de *Lecythis lanceolata* Poir.



Figura 11. Sementes de abricó selecionadas para a sementeira.

Fonte: A autora, 2019.

A utilização do lodo foi realizada de modo in natura, para verificação de sintomas de possível contaminação, possíveis ataques de insetos, e a verificação de mau cheiro consequência de sua manipulação e mistura. Os tratamentos foram formulados misturando-se, manualmente, os dois componentes, nas seguintes proporções (Testemunha: 100%; T1: 25% de lodo + 75% material compostado; T2: 40% de lodo + 60% material compostado; T3: 60% de lodo + 40% material compostado). O composto de poda de árvore proveniente do Parque Municipal foi utilizado como testemunha (T0).

Para a produção das mudas, foram utilizados sacos plásticos com capacidade volumétrica de (750 cm<sup>3</sup>) e dimensões de 15,0 cm de comprimento e 10,0 cm de largura. Realizou-se a sementeira direta nos saquinhos de forma manual cobertos por uma fina camada de substrato. O experimento ficou em uma estufa com sombrite de 50%, com duas irrigações por dia (Figura 12).



Figura 12. Sacos plásticos com substrato pronto para sementeira.

Fonte: A autora, 2019.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e 10 repetições, resultando em 20 plantas para cada tratamento. Entretanto, na parcela da espécie *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro) foram utilizadas três sementes, pelo fato da semente ser menor em relação às outras espécies. A calagem, adubação com micronutrientes e adubação de cobertura não foram realizadas.

Ao 34° dia após a semeadura, foram selecionadas aleatoriamente dez amostras de cada tratamento da espécie *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro) e mensuradas a altura total, altura sem raiz e o tamanho da raiz. O tamanho das plantas foi obtido com régua milimetrada tomando-se, como padrão, a gema terminal (meristema apical) até a raiz e a medição das raízes tomou-se do colo (região que divide raiz e caule) até a última radícula. As demais espécies foram acompanhadas até o 55° dia para aguardar o máximo de emergências e foram submetidas a apenas estudo de sua taxa de germinação.

A altura das mudas foi submetida à análise estatística, por meio do Planejamento de Experimentos (em inglês *Design of Experiments*, DOE). O procedimento adequado, para testar se existem diferenças significativas entre médias de populações ou tratamentos em um experimento é a Análise de Variância, usualmente abreviada como ANOVA. A Análise de Variância é proposta como na Tabela 8.

Tabela 8. Análise de Variância.

| TABELA ANOVA       |                    |                    |                  |                     |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| Causas de Variação | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrados Médios | F - calculado       |
| <b>Tratamentos</b> | a - 1              | SQT                | $\mu_{QT}$       | $\mu_{QT}/\mu_{QE}$ |
| <b>Resíduos</b>    | N - a              | SQE                | $\mu_{QE}$       |                     |
| <b>Total</b>       | N - 1              | SQ Total           | $\mu_Q$ Total    |                     |

Fonte: MONTGOMERY, 2013

Para que a análise de variância seja considerada válida, algumas pressuposições devem ser obedecidas, como os erros devem ser independentes, normalmente distribuídos e com variância comum (homocedasticidade).

As hipóteses a serem testadas são:

H0: Não existe diferença entre os tratamentos, mesmo com adição de lodo de esgoto;

H1: Existe pelo menos uma diferença entre os tratamentos, ou diferenças de desempenho.

Para verificar quais são as diferenças entre os tratamentos, foi utilizado o teste de comparação de médias de Tukey no nível de 0,05 de probabilidade. O teste de Tukey geralmente é utilizado para

comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos. O teste é exato e de uso muito simples quando o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos. No presente artigo adotou-se como metodologia o guia para planejamento de experimentos sugerido por Montgomery (2013). A análise estatística foi realizada utilizando o ambiente computacional R (*R Development Core Team*, 2017), software estatístico gratuito e de código aberto.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo e o material compostado não tiveram análises prévias para determinação da quantidade nutricional de cada elemento primordial para o desenvolvimento inicial. Ao verificar visualmente possíveis evidências de deficiências nas mudas, em todos os tratamentos até o último dia de análise, não foi visualizado nenhum sintoma característico de deficiência. A falta de algum elemento essencial se manifesta com uma determinada característica e a maior preocupação foi a falta dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Os elementos foram definidos pela importância no crescimento, desenvolvimento, componente vital nas células, aminoácidos, proteínas, e para a fotossíntese, mesmo considerando que a deficiência de nutrientes de cada espécie possa apresentar comportamentos distintos em variadas etapas do desenvolvimento vegetal. As espécies estudadas são florestais, portanto apresentam um desenvolvimento mais lento que espécies agrícolas destinadas à produção, portanto alguns sintomas de deficiência podem não ser perceptíveis em curto prazo, definido que espécies florestais demandam análises com maiores períodos de avaliação.

De acordo com a legislação CONAMA nº 375, é fundamental que o lodo de esgoto seja submetido ao processo de desinfecção antes de ser destinado à agricultura (SIQUEIRA; BARROSO; MARCIANO, 2017), entretanto o objeto de estudo seria além da viabilidade do substrato, a qualidade do tratamento e o comportamento tanto do composto, quanto da espécie florestal que estava sendo testada no momento. Inicialmente, sabe-se que o lodo de esgoto necessita de uma mistura, pois de acordo com a literatura, BACKES et al. (2013), Kummer (2013), Bonini, Alves e Montanari (2015), ocorre uma deficiência do elemento potássio (K) no lodo de esgoto doméstico.

Moretti, Bertoncini e Abreu Júnior (2013) realizaram a análise do lodo de esgoto em conjunto com poda de árvore compostado e encontraram que a mistura proporcionou um aumento de 200% no nível de potássio (K), 50% no nível de Cálcio (Ca) e os teores de fósforo (P) e magnésio (Mg) mantiveram-se constantes, de modo a reforçar que a poda de árvore compostado pode contribuir em teores de macronutrientes ao lodo.

Corcioli et al. (2016) em suas análises sobre deficiência nutricional em mudas maduras de *Khaya ivorensis* (mogno africano), as plantas com omissão de Ca, N, Mg e K apresentaram caules mais finos. Camacho et al. (2014) estudaram as mudas de *Bombacopsis glabra* (castanha do maranhão) submetidas à deficiência de Mg, e verificaram que as folhas mais velhas apresentaram uma ligeira clorose internerval e manchas foliares.

Souza et al. (2015) estudaram os sintomas visuais de deficiência de macronutrientes na amoreira-preta e afirmam que as plantas cultivadas sob omissão de N apresentaram sintomas de clorose nas folhas mais velhas, e diminuição no crescimento das plantas. O que não foi visualizado até o 55º dia do experimento. Vieira et al. (2015) verificaram a omissão de nutrientes no mogno africano. Afirmam que os primeiros sintomas de deficiência de P foram observados no 62º dia, quando as folhas velhas se tornaram mais claras, e algumas apresentaram clorose nas bordas. Além disso, observaram a queda de folhas velhas mesmo verdes e, novas inserções com folhas atrofiadas.

Os comportamentos de deficiência vislumbrados em outros trabalhos não foram reconhecidos nas mudas de coração-de-negro, jatobá e abricó até o dia estudado (Figura 13).



Figura 13. Coração-de-negro e Jatobá sem sintomas de deficiência nutricional.  
Fonte: A autora, 2019.

Em relação à germinação verificou-se que o lodo de esgoto influencia na melhora da emergência da espécie *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro), pois apresentou uma taxa de germinação acima de 90% (Tabela 9) no tratamento com maior porcentagem de lodo, com maior crescimento em altura em todos os tratamentos com a utilização do lodo e os piores resultados encontrados foram da testemunha. A Tabela 9 apresenta os números finais da análise.

Tabela 9. Resultados obtidos na análise (T0 - Testemunha; T1: 25% de lodo + 75% material compostado; T2: 40% de lodo + 60% material compostado; T3: 60% de lodo + 40% material compostado).

| Espécies         | Tratamentos | Número de sobreviventes | Taxa de germinação (%)                  | Média da altura (cm)       | Mediana da altura (cm)             | Desvio Padrão               |
|------------------|-------------|-------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Coração-de-negro | T0          | 22                      | 73,3                                    | 16,69                      | 17,85                              | 4,47                        |
|                  | T1          | 28                      | 93,3                                    | 21,01                      | 20,40                              | 3,98                        |
|                  | T2          | 26                      | 86,7                                    | 21,62                      | 22,00                              | 4,41                        |
|                  | T3          | 27                      | 90,0                                    | 25,8                       | 28,00                              | 4,85                        |
| Jatobá           | T0          | 0                       | 0,0                                     | Sem germinação             | Sem germinação                     | Sem germinação              |
|                  | T1          | 5                       | 25,0                                    | 16,08                      | 16,4                               | 2,09                        |
|                  | T2          | 2                       | 10,0                                    | 17,1                       | 17,1                               | 0,42                        |
|                  | T3          | 5                       | 25,0                                    | 27,48                      | 28,5                               | 2,68                        |
| Sapucaia         | T0          | 0                       | 0,0                                     | Sem germinação             | Sem germinação                     | Sem germinação              |
|                  | T1          | 0                       | 0,0                                     |                            |                                    |                             |
|                  | T2          | 0                       | 0,0                                     |                            |                                    |                             |
|                  | T3          | 0                       | 0,0                                     |                            |                                    |                             |
| Abriçó de Praia  | T0          | 5                       | 25,0                                    | 1,64                       | 1,6                                | 0,21                        |
|                  | T1          | 6                       | 30,0                                    | 1,9                        | 1,9                                | 0,39                        |
|                  | T2          | 8                       | 40,0                                    | 2,21                       | 2,8                                | 0,41                        |
|                  | T3          | 11                      | 55,0                                    | 3,15                       | 2,85                               | 0,76                        |
| Espécies         | Tratamentos | Intervalo de confiança  | ANOVA                                   | Shapiro-Wilk               | Bartlett                           | Durbin-Watson               |
| Coração-de-negro | T0          | 0,18                    | F-calculado: 5,73<br>p-valor: 2,58 e-03 | W = 0,97<br>p-valor = 0,48 | K-squared = 1,76<br>p-valor = 0,62 | DW = 2,25<br>p-valor = 0,62 |
|                  | T1          | 0,16                    |   |                            |                                    |                             |
|                  | T2          | 0,18                    |   |                            |                                    |                             |
|                  | T3          | 0,19                    |   |                            |                                    |                             |
| Jatobá           | T0          | Sem germinação          | Não calculado                           | Não calculado              | Não calculado                      | Não calculado               |
|                  | T1          | 0,12                    |   |                            |                                    |                             |
|                  | T2          | 0,04                    |   |                            |                                    |                             |
|                  | T3          | 0,15                    |   |                            |                                    |                             |
| Sapucaia         | T0          | Sem germinação          | Não calculado                           | Não calculado              | Não calculado                      | Não calculado               |
|                  | T1          |                         |   |                            |                                    |                             |
|                  | T2          |                         |   |                            |                                    |                             |
|                  | T3          |                         |   |                            |                                    |                             |
| Abriçó de Praia  | T0          | 0,012                   | Não calculado                           | Não calculado              | Não calculado                      | Não calculado               |
|                  | T1          | 0,02                    |   |                            |                                    |                             |
|                  | T2          | 0,018                   |   |                            |                                    |                             |
|                  | T3          | 0,03                    |   |                            |                                    |                             |

Fonte: A autora, 2019.

A germinação do Coração-de-negro foi observada a partir do 6º dia pós-semeadura e estabilizou no 20º, portanto além de resultados na taxa de germinação, o lodo auxiliou na redução de dias necessários para a emergência da espécie. Moraes (2007) realizou testes de germinação com a *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro), de modo a submeter a diferentes temperaturas em papel filtro com água. Seu resultado aponta que nas temperaturas de 10°C e 40°C não houve germinação, e a melhor temperatura foi alternada de 20-35°C. A taxa de germinação nessa temperatura foi de aproximadamente 70%. O que temos é que a testemunha alcançou a taxa de germinação que Moraes (2007) encontrou sem nenhum aditivo comercial, e nos tratamentos com a adição de lodo de esgoto temos o aumento da taxa de germinação, pois todos os outros apresentaram taxas acima de 85%.

O jatobá apresentou emergências em todos os tratamentos, porém a única emergência no T0 padeceu entre o 34º dia e 41º dia. A Sapucaia não apresentou germinação em nenhum dos dias analisados. O abricó iniciou sua emergência entre o 34º dia e 41º dia.

Paulucio (2016) realizou experimentos com a Sapucaia e afirma que a maior porcentagem de emergência (60%) foi obtida com a escarificação mecânica do tegumento, e o início da emergência das plântulas ocorreu no 16º dia após a semeadura, apresentando os maiores picos no 26º, 49º e 76º dia após a semeadura. Esperava-se que o lodo de esgoto conseguisse diminuir os picos de semeadura, o que não foi observado no experimento, uma vez que não houve emergência.

No experimento temos a porcentagem máxima de 25% (Tabela 8), e aparentemente o jatobá não aprecia com excesso de matéria-orgânica, uma vez que no experimento tem-se uma taxa de germinação baixa, contrariando o que Freitas et al. (2013) encontraram. No experimento de Freitas et al. (2013) verificaram um crescimento de 53% em 15 dias e 80% em 35 dias, após esclaração mecânica do jatobá em conjunto com um substrato contendo somente areia.

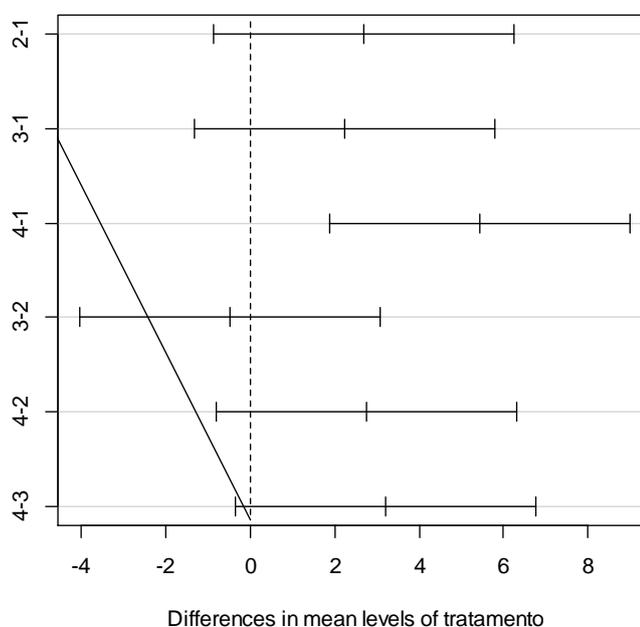
Não foram encontrados autores que abordassem sobre a taxa de germinação e quantos dias pode se levar a emergência do abricó-de-praia, para que pudesse haver uma comparação. No experimento vemos somente o aumento gradativo da taxa, com o aumento da porcentagem de lodo de esgoto no substrato e a diferença significativa entre a testemunha (T0) e o tratamento T3, portanto existe uma correlação entre o aumento do lodo no substrato e o aumento da taxa de germinação. A espécie apresentou uma germinação lenta, visualizada nos 15 dias anterior ao término do experimento.

O método de análise de variância indica a aceitação ou rejeição da hipótese de igualdade das médias. Se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) for rejeitada, estaremos admitindo que, pelo menos, uma das médias é diferente das demais. Com os resultados obtidos pela Análise de Variância concluí-se que existe diferença estatística significativa ou efeito do tratamento ao nível de significância de 5% ( $\alpha =$

0,05), com base no p-valor obtido (2,58 e-03), ou seja, rejeita-se  $H_0$ , então pode-se afirmar que existe pelo menos uma diferença entre os tratamentos.

Na sequência, a análise de normalidade, independência e igualdade da variância dos resíduos é realizada por testes estatísticos. Para dar suporte a verificação das suposições, consideramos o teste Shapiro-Wilk, Bartlett, e Durbin-Watson. Com base nos valores obtidos da tabela acima, as hipóteses de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos do modelo estatístico foram validadas ao nível de 1% de significância. Para o teste de Tukey realizou-se a análise gráfica para demonstrar quais as médias que se diferenciam entre si. Pode-se verificar no gráfico (Figura 14), que se o intervalo de confiança contém o zero no gráfico, significa que as médias não se diferenciam entre si.

Figura 14. Intervalos de confiança para as diferenças das médias - Teste de Tukey.



Fonte: A autora, 2019.

A análise mais distante de zero, está nos tratamentos que são representados no gráfico como o número 1 (T0) e o número 4 (T3), o que indica que esses tratamentos possuem a maior variação entre si, de modo a mostrar a diferença entre os dois tratamentos. Os tratamentos número 2 e 3 (T1 e T2) possuem médias que não diferenciam muito entre si, portanto na análise da espécie *Poecilanthus parviflora* (Coração-de-negro), tem-se que a utilização de 25% ou 40% de lodo no substrato vão contribuir com resultados estatisticamente parecidos.

#### 4. CONCLUSÃO

O uso do biossólido na composição do substrato para produção de mudas de *Poecilanthe parviflora* (Coração-de-negro) é uma alternativa viável para a disposição final desse resíduo, com a formulação de 60% de lodo + 40% material compostado, com a taxa de germinação de 90%, e maior média de altura observada.

Existe a necessidade de estudos sobre o melhor substrato para as espécies florestais, Sapucaia (*Lecythis lanceolata* Poir.), que não apresentou germinação. A espécie necessita de esclaração mecânica para que se a semente receba umidade, porém o que foi realizado, uma simples rachadura em sua casca, pode não ter sido suficiente para que houvesse a emergência. O período de análise provavelmente, também contribuiu para que não houvesse possibilidade de verificação da emergência.

O Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) indicou germinações abaixo de 30%, mesmo realizada a escarificação, conforme literatura. A espécie não apresentou emergência na testemunha e taxas baixas na adição do substrato, de modo a ser necessário estudos com o lodo e outro tipo de composto na formulação de um substrato que aumente a emergência da espécie.

O abricó-de-praia (*Mimusops coriacea*) apresentou germinação, porém com taxas abaixo de 60%. Verifica-se que quanto maior a porcentagem de lodo no substrato, maior é sua taxa de germinação, o que consiste em uma resposta positiva ao tratamento e a utilização do substrato.

A utilização do lodo de esgoto in natura, sem tratamentos de desinfecção como a compostagem e a calagem, não apresentou problemas de infestação de insetos, moscas, e outros insetos. Também não apresentou problemas de mau cheiro e não houve nenhuma ocorrência de doenças nas mudas e sintomas de deficiências nutricionais. Para todo, recomenda-se replicar o experimento com lodo de ETE com outras espécies da Mata Atlântica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFAZ, D. C. S. et al. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 112 - 123, Feb. 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980993X2017000100112&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980993X2017000100112&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 10 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>. Acesso em: 27 abr. 2019.

ANDRADE, L. A. et al. Aspecto biométrico de frutos e sementes, grau de umidade e superação de dormência de jatobá. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.32, n.2, p.993-299, abr./jun. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v32n2/a16v32n2> 22.05.2019>. Acesso em 09 maio 2019.

BACKES, C. et al. Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1402-1414, out. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010006832013000500029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832013000500029&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 25 maio 2019.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.10, n.1, p.34-42, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Carolina\\_Dos\\_Santos\\_Batista\\_Bonini2/publication/274380089\\_Recuperacao\\_da\\_estrutura\\_de\\_um\\_Latossolo\\_vermelho\\_degradado\\_utilizando\\_lodo\\_de\\_esgoto/links/551fdbd90cf29dcabb08b416.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carolina_Dos_Santos_Batista_Bonini2/publication/274380089_Recuperacao_da_estrutura_de_um_Latossolo_vermelho_degradado_utilizando_lodo_de_esgoto/links/551fdbd90cf29dcabb08b416.pdf)>. Acesso em: 23 maio 2019.

CABREIRA, G. V. et al. BIODIVERSIDADE COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS. **Floresta**, [S.l.], v. 47, n. 2, p. 165-176, jul. 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/44291>>. Acesso em: 13 maio 2019.

CALDEIRA, M. V. W. et al. SUBSTRATOS ALTERNATIVOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, vol. 37, núm. 1, Jan-Feb, 2013. pp. 31-39. Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, Brasil. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48825658004>>. Acesso em: 30 abril 2019.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae** 5(1): 34-43, Bom Jesus - Piauí, 2014. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5022030#>>. Acesso em: 11 maio 2019.

CAMACHO, M. A.; CAMARA, A. P.; ZARDIN, A. R. Diagnóstico visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 427-431, Set. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010477602014000300012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010477602014000300012&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 27 maio 2019.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Campos/UENF. UFPR/FUPEF, 1995. 451p.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MACAÉ E DAS OSTRAS. **Características Ambientais - Clima**. Brasil, [201-]. Disponível em: <<http://cbhmacae.eco.br/site/index.php/caracteristicas-ambientais/clima/>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

CORCIOLI, G.; BORGES, J. D.; JESUS, R. P. DEFICIÊNCIA DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM MUDAS MADURAS DE *KHAYA IVORENSIS* ESTUDADAS EM VIVEIRO. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 1, p. 121-128, Mar. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010477602016000100121&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010477602016000100121&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 16 maio 2019.

COSTA, W. S. et al. **Ecologia, manejo, silvicultura e tecnologia de espécies nativas da Mata Atlântica (Jatobá – *Hymeneae courbaril* L.)**. Viçosa: UFV, 2011, 18p. Disponível em: <[http://ciflorestas.com.br/arquivos/d\\_b\\_b\\_4835.pdf](http://ciflorestas.com.br/arquivos/d_b_b_4835.pdf)>. Acesso em 29 abril 2019.

DELARMELINA, W. M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@ambiente on-line**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 184-192, sep. 2013. Universidade Federal de Roraima, Boa Vista. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/888/1148>>. Acesso em: 14 maio 2019.

FARIA, Júlio C. T. et al. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 4, p. 342-351, 31 Dec. 2013. Disponível em: <<https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/242>>. Acesso em: 05 maio de 2019.

FREITAS, A. et al. Superação da dormência de sementes de jatobá. **Pesquisa Florestal Brasileira**. 31. Mar. 2013 [Online] 33:73. pg. 85-89. Disponível em: <<https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.350>>. Acesso em: 08 de maio de 2019.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: UFV, 3 ed., 2004. 116 p. (Cadernos didáticos, 72).

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Resolução **INEA Nº 143 DE 14 DE JUNHO DE 2017**. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/153114718/doerj-poder-executivo-12-07-2017-pg-17>>. Acesso em: 07 de maio 2019.

KRATZ, D; WENDLING, I. PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* EM SUBSTRATOS RENOVÁVEIS. **Floresta**, [S.l.], v. 43, n. 1, p. 125 - 136, abr. 2013. Disponível em:

<<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/25989>>. Acesso em: 15 maio 2019.

KUMMER, A. C. B. Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja. Botucatu, 2013. 178f. **Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas**, Botucatu. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103468/000757491.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 maio 2019.

LAZARINI, L. Polissacarídeos de *Mimusops coriacea* (A. de Candolle) Miquel (abricó). 1998. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná**, 1998. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/33362/Monografia%20Luciane%20Lazarini.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 maio 2019.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992.

\_\_\_\_\_. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil / Marri Lorenzi. - 2. ed. - Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998.

\_\_\_\_\_. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. v.1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 368p.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 8.ed. New York, John Wiley & Sons, 2013.

MORAES, J. V. Morfologia e germinação de sementes de *Poecilanthe parviflora* Bentham (Fabaceae - Faboideae) Jaboticabal, 2007 viii, 78 f.: il.; 28 cm. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias**, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/96809>>. Acesso em: 16 maio 2019.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Aplicação do método de mineralização de nitrogênio com lixiviação para solo tratado com lodo de esgoto e composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 622-631, Jun. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01006832013000300008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01006832013000300008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 19 maio 2019.

NASCIMENTO, A. L. et al. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, Uberlândia - Minas Gerais, v.

30, n. 1, p. 146-153, Jan./Feb. 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15142/13693>>. Acesso em: 08 maio 2015.

PAULUCIO, M. C. Germinação ex vitro e potencial organogênico e embriogênico in vitro de *Lecythis pisonis* cambes. – 2016. 72 f.: il. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias. Vitória – Espírito Santo. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/7692>>. Acesso em: 03 maio 2019.

R Development Core Team. 2017. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em 06 maio 2019.

REYES, A. E. L. **Trilhas da ESALQ - Árvores Úteis**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. Piracicaba – São Paulo, [201-]. *E-book*. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/trilhas/uteis/ut19.php>>. Acesso em: 24 maio 2019.

SANTOS, C. B. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica*. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 1 -15, 2000.

SCHEER, M. B. et al. PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTA PSEUDOCARYOPHYLLUS (GOMES) LANDRUM COM LODO DE ESGOTO. Seedling production of *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum using sewage sludge. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [S.l.], v. 11, p. 59 - 66, out. 2013. ISSN 2596-2868. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/11378>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. **Vértices**, Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, v.19, n.3, p. 171-186, set/dez, 2017. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/7587/9034>>. Acesso em: 04 maio 2019.

SOUZA, F. B. M. et al. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes, boro e ferro e composição mineral de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia , v. 45, n. 2, p. 241-248, Jun. 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S198340632015000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198340632015000200003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 23 maio 2019.

TRATA BRASIL - SANEAMENTO É SAÚDE. **Principais estatísticas de esgoto no Brasil**. Brasil, [entre 2015 e 2018]. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais->

estatisticas/no-brasil/esgoto. Acesso em: 28 abr. 2019.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento de mudas de mogno africano. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 72 - 83, fev. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/enflo/article/view/16042>>. Acesso em: 27 maio 2019.