

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**TESE**

**Caracterização de Biossólidos para a Produção de Mudanças  
de Espécies Arbóreas da Mata Atlântica**

**Jorge Makhlouta Alonso**

**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**CARACTERIZAÇÃO DE BIODÉTRITOS PARA A PRODUÇÃO  
DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA**

**JORGE MAKHLOUTA ALONSO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Paulo Sérgio dos Santos Leles**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Doutor em  
Ciências**, no Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Ambientais e Florestais,  
Área de Concentração em Silvicultura

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M235c MAKHLOUTA ALONSO, JORGE , 1987-  
CARACTERIZAÇÃO DE BIODSÓLIDOS PARA A PRODUÇÃO DE  
MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA / JORGE  
MAKHLOUTA ALONSO. - Seropédica, 2018.  
116 f. : il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos Leles.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS, 2018.


1. lodo de esgoto. 2. viveiros florestais. 3.  
resíduos sólidos. 4. substratos. I. Leles, Paulo Sérgio  
dos Santos, 1966-, orient. II Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS III. Título.


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E**  
**FLORESTAIS**

**JORGE MAKHLOUTA ALONSO**

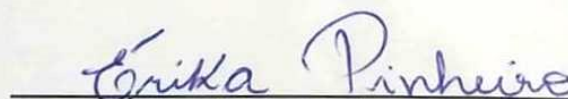
Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura.

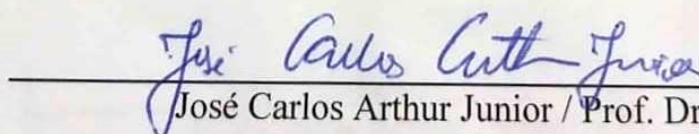
TESE APROVADA em 05/12/2018

  
Paulo Sérgio dos Santos Leles / Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

  
Alexander Silva de Resende / Pesq. Dr. Embrapa Agrobiologia

  
Cleverson Vitório Andreoli / Prof. Dr. ISAE

  
Erika Flávia Machado Pinheiro / Profa. Dra. UFRRJ

  
José Carlos Arthur Junior / Prof. Dr. UFRRJ

Dedico esse estudo às minhas avós Jorgina Pereira Alonso (*in memoriam*) e Leila Georges Makhouta por todo cuidado, carinho, histórias, ensinamentos, exemplos e outros bons momentos!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida que me foi destinada e por nela estar presente, possibilitando tudo que tenho realizado.

Aos meus pais Gilson e Marisa, pelo apoio que sempre me proporcionaram, pelo exemplo e pelo esforço que fizeram na criação e educação minha e de meus irmãos.

A todos os meus familiares, principalmente ao meu avô Georges, do qual herdei o nome, e à minha avó Leila, os maiores exemplos que tenho de luta e dedicação. Também deixo agradecimento especial para minha avó Jorgina, que faleceu no período em que eu estava realizando as pesquisas.

À minha esposa Patrícia pelo apoio emocional e companhia em todos os momentos do curso de Doutorado e do desenvolvimento desse estudo.

Aos meus amigos de todas as partes pelos valiosos momentos que compartilhamos e pelas mais variadas conversas, principalmente aquelas que de alguma forma colaboraram com o desenvolvimento e redação do presente trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) por me possibilitar cursar a Graduação, o Mestrado e o Doutorado. Em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF), pelo aprendizado proporcionado.

À Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) pelo investimento em minha pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE) pela disponibilização dos biossólidos utilizados no estudo, bem como pelas informações fornecidas e realização de parte das análises. Em especial aos amigos Alan e Elton, grandes parceiros no estudo do biossólido.

Ao Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento (LAPER) da UFRRJ e a toda sua equipe, por me proporcionar estrutura durante esse e outros trabalhos. Em especial aos amigos Thales, Gerhard, Avner, Lucas, Thasso e Juçara, pelo apoio nos trabalhos em viveiro e campo, e ao amigo João Elvis pela grande força na análise estatística dos dados.

Ao Sebastião (Tião) funcionário do viveiro do Instituto de Florestas, que me conhece desde o início da graduação, quando fui seu estagiário, por auxiliar no cuidado das mudas no viveiro.

Ao amigo e Professor Paulo Sérgio pela orientação desde a graduação e por todos os valiosos e inúmeros ensinamentos que me proporciona até hoje.

A todos os demais professores que tive pela vida que muito contribuíram para minha educação e formação.

À Banca Examinadora da Tese, em especial aos membros titulares Alexander Silva de Resende, Cleverson Vitório Andreoli, Érika Flávia Machado Pinheiro e José Carlos Arthur Junior por aceitarem avaliar e contribuir com o presente trabalho.

Meus agradecimentos também as demais pessoas que contribuíram de alguma forma na minha formação pessoal e acadêmica, bem como no desenvolvimento desse estudo.

## RESUMO

ALONSO, Jorge Makhoul. **Caracterização de biossólidos para a produção de mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica**. 2018. 116p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais, Silvicultura). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

O lodo de esgoto é o resíduo sólido proveniente do tratamento de esgoto sanitário, que é rico em matéria orgânica e nutrientes, chamado de biossólido após tratamento visando sua utilização produtiva. Sua produção nos grandes centros urbanos é crescente e a sua destinação é considerada um problema ambiental. O reaproveitamento do biossólido como substrato para a produção de mudas florestais pode favorecer a retenção hídrica, a disponibilidade de macro e micronutrientes e reduzir custos com substratos e fertilização mineral. Esta pesquisa tem por objetivo caracterizar e avaliar os biossólidos produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) localizadas na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, visando sua utilização na produção de mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica. Inicialmente foram avaliados diferentes lotes de biossólidos das ETEs Ilha do Governador, Sarapuí, Alegria, Pavuna e Barra da Tijuca, todas tratam esgotos de origem domiciliar e se diferenciam quanto aos processos e métodos para tratamento de esgoto e lodo. Foram avaliadas a concentração de macro e micronutrientes, bem como de metais pesados em cada material. Os biossólidos também foram valorados economicamente visando sua utilização com adubo e substrato. Todos os lotes de biossólido avaliados apresentaram concentrações de metais pesados abaixo das permitidas pela legislação brasileira, altos teores de nutrientes e matéria orgânica, apresentando potencial para utilização agrícola. Os biossólidos foram valorados em média a R\$ 274,82 por megagrama, considerando sua utilização como adubo e R\$ 907,37 por megagrama, para uso como substrato. Na segunda etapa do estudo, foram avaliados substratos nas proporções de 25:75, 50:50, 75:25 e 100:00 (%) de biossólido da ETE Ilha e fibra de coco no crescimento e na qualidade de mudas de *Ceiba speciosa* (paineira). Os substratos compostos por 50 a 100% de biossólido apresentaram maior crescimento em altura, diâmetro e biomassa, gerando mudas de melhor qualidade. Em um terceiro experimento, foi avaliado o potencial do biossólido produzido nas ETEs Ilha, Sarapuí e Alegria como substratos na produção de mudas de *Colubrina granulosa* (sobrasil) e *Peltophorum dubium* (farinha seca) em comparação com dois substratos comerciais, um a base de casca de pinheiro e o outro a base de turfa de esfagno, com e sem aplicação de fertilização complementar com potássio. Os biossólidos da ETE Ilha e Sarapuí apresentaram características químicas e físicas adequadas para serem utilizados como substrato, enquanto o da ETE Alegria apresentou características físicas indesejáveis, necessitando de tratamento complementar ou mistura com outros materiais para utilização como substrato. Quanto à produção de mudas, para ambas as espécies, foi observado maior crescimento e qualidade nos substratos compostos por biossólidos da Ilha e Sarapuí do que em substratos comerciais. As mudas produzidas com biossólido também apresentaram melhor sobrevivência e crescimento após plantio em campo. De modo geral, a fertilização com K promoveu maior acúmulo do elemento nos tecidos das mudas e foi benéfica para a sobrevivência delas após plantio.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, viveiros florestais, resíduos sólidos, substratos.

## ABSTRACT

ALONSO, Jorge Makhouta. **Characterization of biosolids to produce seedlings of Atlantic Forest tree species.** 2018. 116p. Thesis (Doctorate in Environmental and Forestry Sciences, Silviculture). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The sewage sludge is the solid residue generated after sewage treatment, which is rich in organic matter and nutrients, being called as biosolid after treatment for its productive utilization. Its production in large urban areas is increasing and its destination is considered an environmental problem. The reutilization of biosolids as substrate to produce forest seedlings can favor water retention, provide macro and micronutrients and reduce costs with commercial substrates and complementary fertilization. This research aims to characterize and evaluate the biosolids produced in Wastewater Treatment Plants (WWTP) located in the metropolitan region of Rio de Janeiro state, considering their use in the production of seedlings of Atlantic Forest tree species. Initially, different batches of biosolids from the WWTPs of Ilha do Governador, Sarapuú, Alegria, Pavuna and Barra da Tijuca, were evaluated, all these WWTP treat domestic sewage and differ from each other in the processes and methods used for sewage and sludge treatment. The content of macro, micronutrients and heavy metals were evaluated for each material. The biosolids were also economically valued aiming their use as compost and substrate. All batches of biosolids showed concentrations of heavy metals below the levels allowed by Brazilian legislation, high contents of nutrients and organic matter, showing potential for agricultural use. The biosolids were valued at an average of R\$ 274,82 per megagram, considering its use as a compost and R\$ 907,37 per megagram for its use as a substrate. In the second stage of the study, substrates with the proportions of 25:75, 50:50, 75:25 e 100:00 (%) of biosolids from WWTP Ilha and coconut fiber were evaluated in the growth and quality of *Ceiba speciosa* seedlings. Substrates composed with 50 to 100% of biosolids presented higher growth in height, diameter and biomass, generating seedlings of better quality. In a third study, the potential of the biosolids from the WWTP Ilha, Sarapuú and Alegria as substrates was evaluated to produce *Colubrina granulosa* and *Peltophorum dubium* seedlings, in comparison with two commercial substrates, one composed mainly with pine bark and the other with sphagnum peat, with and without complementary fertilization with potassium. The biosolids of WWTP Ilha and Sarapuú presented chemical and physical characteristics compatible with their use as substrate, while that of WWTP Alegria presented undesirable physical characteristics, requiring complementary treatment or mixing with other materials to be used as a substrate. Regarding the production of seedlings, for both species, higher growth and quality was observed in biosolids from Ilha and Sarapuú than in commercial substrates. The seedlings produced with biosolids also presented higher survival and growth after outplanting. In general, the fertilization with K promoted higher accumulation of this nutrient in seedlings tissues and it was beneficial for the survival of seedlings after outplanting.

**Keywords:** sewage sludge, forest nurseries, solid wastes, substrates



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	2
2.1. Biossólido (lodo de esgoto) .....	2
2.1.1. Processos de tratamento de esgoto .....	3
2.1.2. Processos de tratamento de lodo esgoto .....	5
2.2. Caracterização do biossólido .....	7
2.2.1. Caracterização química .....	7
2.2.2. Caracterização microbiológica .....	8
2.2.3. Micropoluentes orgânicos .....	9
2.3. Aplicação do biossólido como substrato na produção de mudas florestais .....	10
2.3.1. Características químicas de biossólidos utilizados na produção de mudas .....	13
2.3.2. Matéria orgânica e relação C/N .....	17
2.3.3. pH .....	18
2.3.4. Condutividade elétrica .....	18
2.3.5. Características físicas de biossólidos utilizados na produção de mudas .....	19
2.3.6. Germinação de sementes .....	21
2.3.7. Proporção de lodo de esgoto no substrato .....	21
2.3.8. Crescimento das mudas .....	24
2.3.9. Aspectos ambientais .....	29
2.3.10. Custos do uso de biossólido em relação a outros componentes e substratos .....	30
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	31
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	34
<b>CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E VALORAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO RIO DE JANEIRO</b> .....	43
<b>RESUMO</b> .....	44
1. INTRODUÇÃO .....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	46
2.1. Descrição das Estações de Tratamento de Esgoto avaliadas.....	46
2.1.1. ETE Alegria.....	46
2.1.2. ETE Barra da Tijuca .....	47
2.1.3. ETE Ilha do Governador.....	47
2.1.4. ETE Pavuna .....	47
2.1.5. ETE Sarapuí.....	48
2.2. Caracterização do biossólido de diferentes procedências .....	49
2.3. Valoração do biossólido visando sua utilização como condicionador de solo e substrato para produção de mudas .....	49
2.4. Tabulação de dados e análises estatísticas .....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
3.1. Caracterização do biossólido de diferentes procedências quanto a teores de nutrientes e metais pesados.....	51
3.2. Valoração do biossólido visando sua utilização como fertilizante, composto orgânico e substrato para produção de mudas .....	57
4. CONCLUSÕES.....	61

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
<b>CAPÍTULO II: BIOSSÓLIDOS COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>CEIBA SPECIOSA</i></b> .....	66
RESUMO .....	67
ABSTRACT .....	68
1. INTRODUÇÃO .....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	72
4. CONCLUSÃO .....	79
5. REFERÊNCIAS .....	79
<b>CAPÍTULO III: BIOSSÓLIDO DE DIFERENTES PROCEDÊNCIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS</b> .....	83
RESUMO .....	84
1. INTRODUÇÃO .....	86
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	87
2.1. Avaliação dos substratos .....	87
2.2. Experimento de viveiro .....	88
2.3. Experimento de campo .....	90
2.4. Análises estatísticas .....	91
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	91
3.1. Avaliação dos substratos .....	91
3.2. Experimento de viveiro .....	96
3.3. Experimento de campo .....	108
4. CONCLUSÕES .....	110
5. REFERÊNCIAS .....	110

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Visando atender a demanda de projetos de restauração florestal, a produção de mudas de espécies florestais nativas tem como desafio gerar grande quantidade de mudas, de diferentes espécies, com qualidade e preço competitivo em relação ao mercado. A produção de mudas florestais em recipientes, como sacos plásticos e tubetes, demanda a elaboração de um substrato, sendo necessário que o mesmo possua características físicas e químicas adequadas para formação de mudas de qualidade, que seus componentes sejam disponíveis localmente e tenham baixo custo de aquisição (CARNEIRO, 1995; GOMES e PAIVA, 2006).

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um problema ambiental recorrente nas cidades brasileiras. Um desses resíduos, o lodo de esgoto, é proveniente do tratamento de esgoto sanitário, tendo como destino comum no Brasil o descarte em aterros sanitários, aumentando a sobrecarga existente sob os aterros de regiões metropolitanas (ABREU et al., 2017c). Entretanto, o lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e elementos químicos considerados como nutrientes para as plantas, sendo possível seu reaproveitamento em atividades agrícolas e florestais (BETTIOL e CAMARGO, 2006), o que consiste em uma destinação mais sustentável do ponto de vista ambiental em comparação com o descarte em aterro sanitário (ABREU et al., 2017c).

Desde que apresente características químicas e biológicas compatíveis com sua utilização produtiva, o lodo de esgoto pode ser denominado como bio sólido (VON SPERLING e ANDREOLI et al., 2014). Como uma forma de reaproveitamento do bio sólido em atividade florestal, sua inserção na composição de substratos para produção de mudas florestais nativas da Mata Atlântica tem se mostrado viável (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014; CABREIRA et al., 2017a).

Dentre os efeitos do uso do bio sólido como componente do substrato pode-se citar o aumento na capacidade de retenção de água, bem como o fornecimento de macro e micronutrientes para as plantas, permitindo economia nos gastos com fertilizantes químicos (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; CUNHA et al., 2006; SCHEER et al., 2010). O uso deste material também pode ocasionar economia na aquisição de substratos comerciais e na aplicação de fertilizantes químicos, considerando a possível redução ou mesmo eliminação da necessidade de fertilização complementar para produção das mudas arbóreas (SCHEER et al., 2010; KRATZ et al., 2017).

Os bio sólidos tendem a possuir características químicas, físicas e biológicas variáveis, devido aos diferentes processos e técnicas de tratamento do esgoto e do lodo utilizados em cada ETE, bem como a origem do efluente, se provêm de áreas urbanas ou industriais, dentre outros fatores (BETTIOL e CAMARGO, 2006; ABREU et al., 2017c). O conhecimento das características de cada bio sólido é fundamental para se definir as linhas mestras de manejo e destinação do material de cada ETE (BATISTA, 2015).

Dessa forma, a aplicação de bio sólido em substrato para produção de mudas demanda prévia caracterização desse material e conhecimento dos efeitos que suas características físicas e químicas podem exercer em fatores relacionados a produção de mudas das espécies arbóreas, tais como a formulação do substrato, necessidade de fertilização e o crescimento de mudas de diferentes espécies.

Partindo da hipótese de que os bio sólidos gerados em diferentes estações de tratamento de esgoto (ETE) possuem características químicas e físicas variáveis, que determinam a aptidão ou não para reaproveitamento desse material na produção de mudas florestais. O objetivo geral é caracterizar e avaliar os bio sólidos gerados em

diferentes ETEs localizadas na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, visando sua utilização na produção de mudas florestais nativas.

Os objetivos específicos da tese foram abordados em três capítulos. O Capítulo I intitulado “Características químicas e valoração de biossólidos de estações de tratamento de esgoto no Rio de Janeiro” se baseou nas hipóteses de que lotes de biossólidos de diferentes ETEs apresentam características químicas diferentes; e que valores financeiros diferentes podem ser atribuídos a cada material de acordo com sua composição química. Dessa forma, os objetivos do Capítulo I foram: avaliar o teor de nutrientes e metais pesados de biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) localizadas na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro; realizar a valoração de tais materiais considerando sua aplicação como fertilizante e substrato para produção de mudas.

O Capítulo II intitulado “Biossólido como substrato para produção de mudas de *Ceiba speciosa*” considerou a hipótese de que o biossólido deve ser misturado com outro material em proporção que resulte um substrato com melhores características para o crescimento de mudas florestais. Sendo assim, o objetivo do Capítulo II foi avaliar substratos com diferentes proporções de biossólido e fibra de coco no crescimento e qualidade de mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna. Tal capítulo se encontra publicado como artigo na Revista Cerne v.24, n.4 de 2018, sendo a citação completa: ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; CABREIRA, G. V. *Biosolids as substrate for the production of Ceiba speciosa seedlings*. Cerne, Lavras, v.24, n.4, p.420-429, 2018.

O Capítulo III intitulado “Biossólido de diferentes procedências para produção de mudas de duas espécies arbóreas” teve como hipóteses que um dos biossólidos apresenta melhores características para utilização como substrato para produção de mudas florestais; que biossólidos são substratos equivalentes ou melhores que formulações comerciais disponíveis no mercado; e que a fertilização com K apresenta efeito positivo na produção de mudas tendo os biossólidos como substrato. Com isso, o objetivo do Capítulo III foi avaliar o potencial do biossólido produzido em diferentes ETEs da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, com e sem fertilização complementar com potássio, em comparação com dois substratos comerciais na produção de mudas de duas espécies florestais da Mata Atlântica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Biossólido (lodo de esgoto)**

O tratamento do esgoto gera um resíduo sólido denominado lodo de esgoto e a disposição final deste material constitui um dos problemas ambientais de grandes cidades (VON SPERLING, 2017). Segundo Von Sperling e Andreoli (2014), apesar dos baixos índices de tratamento de esgotos verificados no Brasil, as exigências crescentes da sociedade e de órgãos ambientais geram uma perspectiva de aumento significativo no número de estações de tratamento de esgoto (ETE) e, em decorrência, na quantidade de lodo de esgoto gerado no país. Os mesmos autores estimam que, até ano de 2013, no Brasil eram geradas diariamente de 90.000 a 350.000 megagramas de lodo líquido (a ser tratado) e de 9.000 a 13.000 megagramas de lodo desaguado (a ser disposto).

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), as formas mais utilizadas para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são disposição em aterro sanitário; reuso industrial, como produção de agregado leve, fabricação de tijolos, cerâmica e produção de cimento; incineração; conversão em óleo combustível;

disposição oceânica; recuperação de solos de áreas degradadas e de mineração; e por fim o uso agrícola ou florestal por meio da aplicação no solo.

Visando o uso agrícola, após transformações microbianas e a devida higienização, o lodo de esgoto pode ser designado como biossólido. Esse termo tem sido utilizado em diversos países e normas, a partir da década de 80, com o objetivo de tirar a conotação pejorativa associada ao termo “lodo de esgoto” e promover o conceito de que este material não é simplesmente um resíduo, podendo ser reaproveitado de maneira benéfica (GUEDES, 2005).

Desde que assegurada a qualidade do material, o reaproveitamento do biossólido para atividades agrícolas e ou florestais apresenta-se como uma das alternativas mais convenientes, pois o material é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes essenciais para as plantas (GUEDES, 2005; BETTIOL e CAMARGO, 2006). Segundo Poggiani et al. (2000), além de representar benefício econômico, o uso agrícola do biossólido representa benefício ecológico, pelo retorno ao campo de parte da matéria orgânica, nutrientes e energia exportados para os centros urbanos. Outro importante benefício ambiental é a possibilidade de aumento do estoque de carbono no solo e da amenização do efeito estufa (GIBSON et al., 2002).

O reaproveitamento do biossólido deve estar condicionado a regras que definam a qualidade do material a ser utilizado e os cuidados exigidos para estabilização, higienização e utilização dele. Além do conhecimento dos impactos ambientais positivos e negativos causados pela utilização do produto, o reaproveitamento agrícola do biossólido pressupõe o desenvolvimento de tecnologias que permitam o processamento e o controle da qualidade do material produzido. Assim como o controle das formas de comercialização e distribuição e a inserção do produto nos sistemas agrícolas, de forma a maximizar os impactos positivos e minimizar os impactos negativos (ANDREOLI, 1999).

### 2.1.1. Processos de tratamento de esgoto

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) são as unidades operacionais onde é realizado o tratamento do esgoto, no qual os poluentes são separados da água por meio de processos físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 2017). Os esgotos sanitários, em geral, são compostos de 99,8% a 99,9% de água e 0,01 a 0,02% de sólidos, dos quais 70% são orgânicos e 30% inorgânicos (ANDREOLI, 1999; MELO e MARQUES, 2000).

Os sistemas de tratamento de esgotos normalmente utilizam, de forma otimizada, os processos de biodegradação que ocorrem na natureza, maximizando seus efeitos, acelerando a decomposição e remoção dos poluentes, com resultados satisfatórios e menor custo possível (FERREIRA et al., 1999; BATISTA, 2015). Segundo Von Sperling (2017), em função das características do esgoto, dos objetivos do tratamento e dos requisitos a serem atingidos para lançamento do efluente tratado no ambiente, o tratamento de esgoto pode ser realizado em diferentes níveis, conforme o resumo apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de tratamento dos esgotos, partículas removidas e aplicação de cada nível apresentado

Nível	Remoção	Aplicação
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)	- Montante de elevatória - Etapa inicial de todos os processos de tratamento
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis	- Tratamento parcial

	- DBO (demanda bioquímica de oxigênio) em suspensão (associada à matéria orgânica dos sólidos em suspensão sedimentáveis)	- Etapa intermediária de tratamento mais completo
Secundário	- DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário) - DBO em suspensão finamente particulada (associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentável e não removida no tratamento primário) - DBO solúvel (associada a matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos) - Eventualmente remoção de nutrientes (fósforo e nitrogênio)	- Tratamento mais completo (para remoção de matéria orgânica)
Terciário	- Nutrientes - Organismos patogênicos - Compostos não biodegradáveis - Metais pesados - Sólidos inorgânicos dissolvidos - Sólidos em suspensão remanescentes	- Tratamento específico ou complementar

Fonte: adaptado de Von Sperling (2017).

Considerando a dificuldade de determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica no esgoto, normalmente utilizam-se métodos indiretos para sua quantificação (VON SPERLING, 2017). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), mencionada na Tabela 1, é um dos indicadores mais comuns para aferir a concentração de matéria orgânica biodegradável no esgoto, sendo determinada por meio da demanda de microrganismos por oxigênio para respiração (VALENTE et al., 1997; VON SPERLING, 2017).

Os métodos de tratamento de esgoto dividem-se em operações físicas e processos químicos e biológicos. Nos tratamentos preliminar e primário do efluente predominam mecanismos de ordem física, enquanto no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica ocorre por meio de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos (VON SPERLING, 2017). Os processos biológicos utilizam os microrganismos presentes no esgoto para coagular e remover colóides não sedimentáveis, degradando parcialmente ou estabilizando a matéria orgânica remanescente no esgoto após o tratamento (FERREIRA et al., 1999; FERNANDES, 2000).

As técnicas utilizadas no tratamento de esgoto variam entre diferentes ETEs de acordo com os objetivos do tratamento e as características de cada local. Na Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro, conforme observado por Bielschowsky (2004), predominam ETEs que realizam o tratamento de esgoto a nível secundário pelo sistema de lodos ativados, sendo que algumas delas utilizam tratamento primário quimicamente assistido. Por serem de interesse no presente trabalho, ambas as técnicas são descritas, resumidamente, a seguir.

No tratamento primário quimicamente assistido (TPQA ou CEPT) ou tratamento primário avançado é feita adição de reagentes químicos para a coagulação (sulfato de alumínio ou cloreto férrico) e ou floculação (polímero orgânico) visando aumentar a eficiência da remoção de matéria orgânica e precipitação de fósforo durante o tratamento primário do esgoto (FIGUEIREDO, 2009; VON SPERLING, 2017).

O sistema de tratamento de esgotos por lodos ativados, segundo Ferreira e Coraiola (2008), tem como princípio acelerar a oxidação e decomposição da matéria orgânica, processos que ocorrem de forma mais lenta em cursos d'água naturais. A estrutura física do sistema é integrada por tanque de aeração (reator), tanque de decantação (decantador secundário) e elevatória de recirculação de lodo (VON SPERLING, 2016). No tanque de aeração (reator) o esgoto é oxigenado, estimulando a

decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias (FERREIRA E CORAIOLA, 2008; VON SPERLING, 2016). No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos, que são recirculados para o reator, promovendo a reativação da população de bactérias, o que resulta na elevada eficiência desse sistema (VON SPERLING, 2016). Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa aumentada pela reprodução das bactérias, gerando o lodo excedente (VON SPERLING, 2016).

### 2.1.2. Processos de tratamento de lodo esgoto

O tratamento realizado pelas ETEs não se restringe ao esgoto, com a retirada de poluentes da água, compreende também o tratamento dos resíduos sólidos gerados durante o processo, sendo o principal deles o lodo de esgoto. Esse material é gerado em diferentes fases do tratamento de esgoto, em ETEs onde o esgoto bruto é recebido nos decantadores primários, é gerado o lodo primário. Na etapa biológica é gerado o lodo secundário ou biológico. Se os lodos primário e secundário forem enviados para o tratamento conjuntamente, tem-se o lodo misto (BATISTA, 2015). Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos principais tipos de lodos, os processos que originam os mesmos e suas principais características.

Tabela 2: Classificação, origem e características dos principais tipos de lodo gerados no tratamento de esgoto

Tipo de lodo	Origem	Características
Lodo primário	- Tanque séptico - Decantador primário	- Sólidos removidos por sedimentação nos decantadores primários - O lodo possui coloração acinzentada, pode exalar forte odor e se decompor facilmente - O lodo removido de tanques sépticos em condições controladas (tanques fechados) permanece tempo suficiente para que ocorra sua digestão
Lodo químico	- Decantador primário com precipitação química - Sistemas com precipitação química de fósforo	- Lodo resultante da precipitação química com sais metálicos ou com cal nos decantadores primário - A preocupação com odores é menor que no lodo primário de tratamento convencional - A taxa de decomposição do material é menor que o lodo primário
Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)	- Lodos ativados convencional - Reatores aeróbios com biofilmes (alta carga)	- Lodo biológico excedente retirado dos decantadores secundários ou da elevatória de recirculação - Compreende a biomassa de microrganismos aeróbios gerada as custas da remoção da matéria orgânica dos esgotos - Esse lodo não se encontra digerido, necessitando de etapa posterior para estabilização reduzindo a emissão de maus odores
Lodo biológico aeróbio (estabilizado)	- Lodos ativados com aeração prolongada - Reatores aeróbios com biofilmes (baixa carga)	- Provém da mesma origem que o lodo descrito anterior, também constituído predominantemente pela biomassa de microrganismos aeróbios - Nos sistemas de baixa carga, a disponibilidade de matéria orgânica é menor e a biomassa fica mais tempo no sistema, resultando em lodo digerido com maior teor de sólidos inorgânicos - Esse material é considerado estabilizado, não requerendo uma etapa de digestão posterior
Lodo biológico anaeróbio (estabilizado)	- Lagoas de estabilização - Reatores anaeróbios	- Material retirado dos reatores anaeróbios e do fundo de lagoas de estabilização - A biomassa anaeróbia cresce e se multiplica

		consumindo a matéria orgânica presente no esgoto - Nas lagoas de estabilização, o lodo também é constituído por biomassa de algas mortas e sólidos sedimentados do esgoto bruto - Nesses processos usualmente a biomassa fica retida um longo tempo no sistema, gerando lodo que não necessita de digestão posterior
Lodo misto	- Mistura dos lodos com origem nos tratamentos primário e secundário	- Suas características são a composição dos lodos que lhe deram origem - Em geral, mistura-se lodo primário ou químico com lodo secundário não estabilizado para estabilização conjunta desses materiais

Fonte: adaptado de Von Sperling (2016) e Batista (2015).

Os processos de tratamento de lodo visam reduzir o teor de matéria orgânica biodegradável, a concentração de patógenos e a quantidade de água, com objetivo de obter um material sólido e estável (BATISTA, 2015). De acordo com Von Sperling (2016) e Von Sperling e Gonçalves (2014), as principais etapas que podem ser realizadas para processamento do lodo são o adensamento (espessamento), estabilização, condicionamento, desaguamento (desidratação) e higienização (desinfecção). Na Tabela 3 é apresentado o resumo sobre cada uma dessas etapas.

Tabela 3: Etapas do tratamento de lodo de esgoto com sua descrição e os principais processos que podem ser utilizados em cada uma delas

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Processos</b>
Adensamento (espessamento)	- Processo físico para concentração de sólidos no lodo, reduzindo a umidade e, em decorrência, o volume do material e facilitando as etapas subsequentes	- Adensamento por gravidade - Flotação - Centrifugação - Filtro prensa de esteiras
Estabilização	- Pode ser realizada por meio de processos biológicos, físicos e químicos - Consiste na remoção da matéria orgânica biodegradável, reduzindo a massa de sólidos voláteis do lodo - Visa atenuar os maus odores no processamento e disposição do lodo	- Digestão anaeróbia - Digestão aeróbia - Tratamento térmico - Estabilização química
Condicionamento	- Consiste na preparação do lodo, por meio da adição de produtos químicos ou tratamento térmico, para a etapa seguinte, de desaguamento - Visa melhorar a captura de sólidos nos sistemas de desidratação do lodo	- Condicionamento químico - Condicionamento térmico
Desaguamento (desidratação)	- Processos naturais ou mecânicos - Visa remover água e reduzir ainda mais o volume do lodo - Tem impacto importante no transporte, manuseio ou descarte do lodo, já que o comportamento dele varia de acordo com seu teor de umidade	- Leitões de secagem - Lagoas de lodo - Filtro prensa - Centrífuga - Filtro a vácuo - Secagem térmica
Higienização (desinfecção)	- Pode utilizar processos biológicos, físicos e químicos - Consiste na remoção de organismos patogênicos do lodo - Não é necessária quando o material final é descartado, sendo realizada em caso de reaproveitamento	- Adição de cal (caleação) - Tratamento térmico - Compostagem - Oxidação úmida - Outros (solarização, radiação gama etc)

Fonte: adaptado de Von Sperling (2016) e Von Sperling e Gonçalves (2014).



As etapas utilizadas no processamento do lodo variam de acordo com o sistema de tratamento utilizado para a fase líquida (esgoto), assim como a disposição final que se pretende dar ao material (VON SPERLING, 2017). Para disposição em aterros sanitários o valor é cobrado pelo peso do material a ser descartado. O peso também impacta nos custos de transporte, dessa forma é desejável que o lodo tenha o menor teor de umidade possível, reduzindo a participação da água no peso do material (GODOY, 2013; LUDUVICE e FERNANDES, 2014). Outro exemplo seria a disposição em solo agrícola ou florestal, na qual o lodo precisa estar estabilizado e livre de contaminantes químicos e organismos patogênicos (BETTIOL e CAMARGO, 2006; ANDREOLI et al., 2014).

Os processos utilizados para tratamento do lodo podem ser escolhidos de acordo com as características que se deseja para o produto ao final do processo. Estudando cinco diferentes lotes de lodo provenientes das ETE de Barueri e Jundiaí, no estado de São Paulo, Carvalho et al. (2015) constataram que a compostagem proporcionou maior estabilização da matéria orgânica, redução de frações solúveis de carbono e de proteína, bem como enriquecimento em celulose, sendo esse material indicado para uso como condicionador de solo. Já a secagem térmica, por preservar melhor os nutrientes e manter frações biodegradáveis de carbono, é indicada para lodo a ser usado como fertilizante de origem orgânica.

O lodo de esgoto pode ser denominado como bio sólido após passar por tratamentos para que suas características químicas e biológicas sejam compatíveis com a sua utilização produtiva (VON SPERLING e ANDREOLI, 2014). Considerando que o objetivo central do presente trabalho é a aplicação deste material como substrato para produção de mudas florestais, convencionou-se chamá-lo de bio sólido no decorrer do trabalho.

## **2.2. Caracterização do bio sólido**

Visando garantir a segurança no reaproveitamento de bio sólidos é necessário conhecer o material de cada ETE, tendo em vista que de acordo com a origem do efluente, nível e tipo de tratamento, além de outros fatores, diferentes lotes de lodo de esgoto podem apresentar composição química variável, além de substâncias e organismos potencialmente danosos a saúde humana e ao meio ambiente (BETTIOL e CAMARGO, 2006; BATISTA, 2015).

Essas preocupações foram a base para elaboração da resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), através da qual se regulamenta e define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. A resolução determina que os lodos sejam avaliados quanto ao seu potencial agrônomico; substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade. Os principais aspectos dessa necessidade de caracterização são abordados nos tópicos a seguir.

### **2.2.1. Caracterização química**

Dentre as justificativas para caracterização química do bio sólido a ser utilizado na agricultura, está a presença de nutrientes necessários para o crescimento e produção das plantas. Esses elementos, por se encontrarem em sua grande parte na forma orgânica, são liberados gradativamente ao solo, por meio de processos oxidativos, aumentando a absorção pelas plantas e diminuindo os riscos de poluição ambiental (MELO e

MARQUES, 2000). Nas exigências da resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) encontra-se a determinação do potencial agrônômico do material, o que consiste nas avaliações de carbono orgânico, pH, umidade, sólidos voláteis e totais e tores totais de N, P, K, Ca, Mg, S e Na. Além dessas análises, também podem ser de interesse para o uso agrícola os teores de micronutrientes e elementos benéficos.

Além do aspecto nutricional, a resolução do CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), aborda a necessidade de avaliar a presença de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas nos biossólidos. A resolução determina a análise dos teores totais dos metais pesados As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. Os metais pesados são elementos que, do ponto de vista ambiental, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferecem risco a saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade de organismos vivos (SILVA et al., 2014). O biossólido de ETEs que recebem apenas efluentes domésticos contém uma pequena quantidade de metais pesados provenientes da própria natureza dos resíduos e de tubulações (VON SPERLING, 2017). Quando a ETE recebe efluentes industriais, os biossólidos podem conter metais pesados, em concentrações variadas, relacionadas aos diferentes processos industriais (SILVA et al., 2014).

O risco representado pelos metais pesados não está associado apenas à sua concentração. Como podem ser absorvidos por organismos vivos, mas em geral não são metabolizados, podem se acumular em ambientes naturais e nos tecidos de diferentes seres vivos que constituem a cadeia alimentar do ser humano (SILVA et al., 2014).

Além dos metais pesados, embora menos frequente, a presença de nitratos na composição do biossólido também pode ser um problema, exigindo atenção quanto aos seus níveis. Devido à falta de sincronismo entre a mineralização do nitrogênio e a absorção deste nutriente pelas plantas, existe o risco de perdê-lo por lixiviação, podendo levar à contaminação do lençol freático (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

### **2.2.2. Caracterização microbiológica**

Diversos microrganismos são encontrados nos esgotos sanitários e no resíduo sólido gerado durante seu tratamento, entre eles bactérias, fungos, vírus, protozoários etc. (SILVA et al., 2014). A componente biológica é responsável por viabilizar os processos de decomposição e a estabilização da matéria orgânica na fase líquida e sólida do tratamento de esgoto (VON SPERLING, 2017). Entretanto, além de seus efeitos benéficos, pode representar risco ambiental e para a saúde humana, considerando a possível presença de organismos patogênicos (BETTIOL e CAMARGO, 2006; BATISTA, 2015).

A resolução do CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) determina a necessidade de avaliar indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos. As análises a serem realizadas são de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* sp. e vírus entéricos.

Na análise de coliformes fecais termotolerantes são consideradas as bactérias que possuem técnicas analíticas simples, fazem parte da flora intestinal normal e são relativamente resistentes (SILVA et al., 2014). Tais bactérias não necessariamente são patogênicas, no entanto sua presença em alimentos ou água potável indica a contaminação por matéria fecal e a possível ocorrência de microrganismos patogênicos (ALMEIDA e ALMEIDA, 2005; VON SPERLING, 2016). Considerando que as análises de microrganismos específicos em esgoto ou lodo podem ser caras e de difícil realização por sua complexidade, a determinação de coliformes termotolerantes é

realizada com um indicador da presença de organismos patógenos (ALMEIDA e ALMEIDA, 2005; SILVA et al., 2014).

O ambiente encontrado nos processos de tratamento de esgoto e lodo é propício ao embrionamento de ovos de helmintos (BATISTA, 2015). Esses patógenos representam risco de contaminação para o ser humano, considerando que seus ovos têm longo tempo de sobrevivência em meio externo, são resistentes aos diferentes tipos de tratamentos e apenas um ovo é suficiente para infectar o hospedeiro (SILVA et al., 2014; BATISTA, 2015). Alguns gêneros, como *Ascaris* sp., tem ovos capazes de permanecer viáveis, em condições de sombra e umidade, por dois a sete anos no lodo ou no solo onde ele foi aplicado (BETTIOL e CAMARGO, 2006; SILVA et al., 2014).

As bactérias do gênero *Salmonella* sp. estão entre as mais encontradas em esgotos domésticos, representando risco de contaminação para o ser humano (BATISTA, 2015). Sua transmissão pode ocorrer por via oral, podendo infectar o ser humano por contato direto, bem como por meio de animais ou alimentos que tiveram contato com o lodo de esgoto contaminado (SILVA et al., 2014). Uma importante razão para monitorar a presença dessas bactérias é que elas são potencialmente fontes de doenças epidêmicas, que podem contaminar grande quantidade de pessoas (CHAGAS, 2000; SILVA et al., 2014).

Os vírus entéricos estão presentes no meio ambiente e no trato digestivo do ser humano, sendo uma das principais causas de gastroenterites, além de outras doenças. Esses vírus estão presentes no lodo de esgoto graças a sua capacidade de se agregar a partículas sólidas, assim se protegem da inativação e permanecem viáveis por períodos maiores, justificando a importância de sua análise anterior à aplicação de biossólido em atividades agrícolas (BARELLA, 2008; SCHLINDWEIN, 2009).

### **2.2.3. Micropoluentes orgânicos**

Alguns compostos orgânicos, como defensivos agrícolas, medicamentos, produtos de limpeza, dentre outros, são resistentes à degradação biológica, não integrando os ciclos biogeoquímicos, podendo estar presentes no esgoto e acumular no lodo gerado durante seu tratamento (BITTENCOURT et al., 2016; VON SPERLING, 2017). Algumas dessas substâncias, mesmo em concentrações reduzidas, podem ser tóxicas para organismos vivos, no entanto muitas vezes não fazem parte das rotinas de monitoramento das ETEs, já que suas metodologias analíticas são onerosas e não estão plenamente definidas. (SILVA et al., 2014; VON SPERLING, 2017).

Para utilização do biossólido na agricultura, a resolução do CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) determina a análise das concentrações de 34 substâncias dos grupos benzenos clorados, ésteres de ftalatos, fenóis não clorados, fenóis clorados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e poluentes orgânicos persistentes (POP). Considerando a complexidade e o custo dessas análises, bem como as características da bacia de esgotamento e dos efluentes recebidos, as ETEs podem requerer dispensa ou alteração da lista de substâncias a serem analisadas (SILVA et al., 2014; BATISTA, 2015).

Em revisão de literatura sobre o potencial de sorção de micropoluentes orgânicos ao lodo de esgoto, Bittencourt et al. (2016) verificaram que são incipientes os trabalhos científicos brasileiros relacionados ao tema. Em suas conclusões os autores mencionam que os compostos amitriptilina, fluoxetina, tonalide (AHTN), galaxolide (HHCB), celestoide (ADBI), triclosan, triclocarban, ciprofloxacina e norfloxacina são os que possuem maior potencial de sorção ao lodo de esgoto. Os autores também mencionam que, para o caso de uso agrícola, existe a demanda de estudos sobre quais processos de

condicionamento e tratamento do lodo promovem maior remoção desses compostos, evitando sua entrada no ambiente.

### 2.3. Aplicação do biossólido como substrato na produção de mudas florestais

Durante a pesquisa para esta revisão bibliográfica foram encontrados 63 artigos científicos que avaliaram a aplicação de resíduo sólido do tratamento de esgoto (biossólido ou lodo de esgoto) para a produção de mudas de espécies arbóreas. Todos os artigos encontrados são citados nas referências bibliográficas do presente item. O estudo mais antigo encontrado é relativamente recente, considerando que foi o trabalho de Ingelmo et al. (1998). A quantidade de trabalhos publicados tem sido crescente, principalmente de 2010 em diante, com exceção dos anos de 2011, para o qual não foi encontrado nenhum trabalho publicado, e de 2016, onde se verificou apenas 1 artigo (Figura 1). A maior produção científica foi observada no ano de 2013, com nove (13,8% do total) artigos publicados.

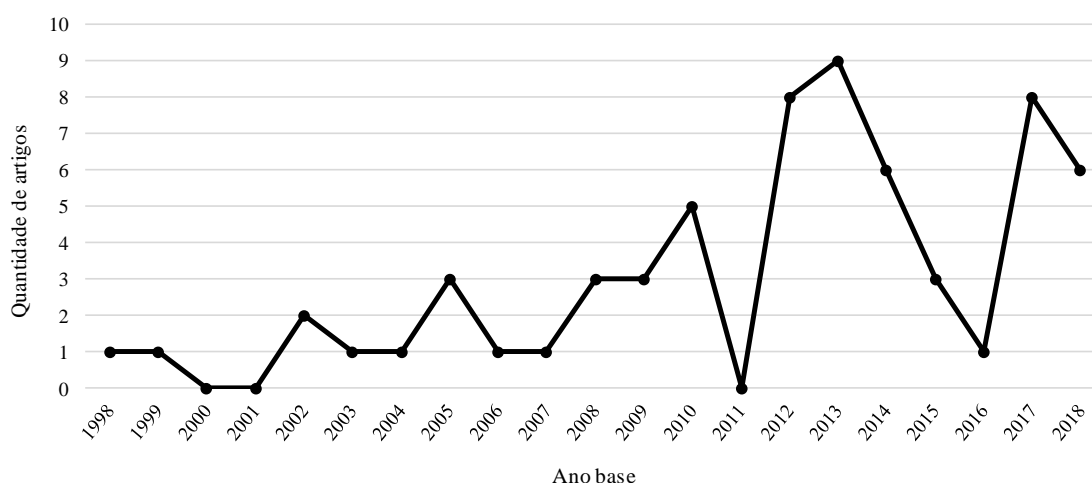


Figura 1: Quantidade de trabalhos publicados de 1998 a 2018 sobre o uso de resíduo sólido do tratamento de esgoto na produção de mudas de espécies arbóreas.

Observa-se que a maioria (53,1%) dos trabalhos foram publicados entre 2013 a 2018 (Figura 1). A quantidade de trabalhos sobre o tema reforça a existência de conhecimento para aplicação de lodo de esgoto ou biossólido na produção de mudas de espécies arbóreas. O maior número de artigos publicados nos últimos anos sugere que o interesse pelo tema é crescente, demonstrando tendência de evolução das pesquisas para preencher lacunas existentes no conhecimento. No entanto, conforme apresentado adiante na presente revisão, os trabalhos têm avaliado aspectos semelhantes e já anteriormente pesquisados, enquanto alguns temas permanecem pouco estudados.

Verificou-se que a maioria dos artigos publicados tiveram como origem pesquisas realizadas no Brasil (79,3% do total). Foram encontrados nove trabalhos realizados na Espanha e um trabalho na Argentina, Colômbia, Portugal e Turquia. Um dos fatores que pode explicar a predominância de artigos registrados no Brasil seria a característica da produção de mudas florestais no país, majoritariamente em recipientes, o que demanda a elaboração de substrato, diferente do sistema de produção em raiz nua, comum em outros países e na produção de coníferas (CARNEIRO, 1995). Outro possível fator seria que no Brasil a aplicação do biossólido na produção de mudas ou

plantios e povoamentos florestais é mais aceita pela população e órgãos públicos do que a utilização agrícola, tendo em vista que essas não são culturas alimentícias.

Vale registrar que existem diversos artigos, além dos 63 encontrados, abordando a utilização de biossólido como substrato para produção de mudas, principalmente de espécies ornamentais, e outras não arbóreas. Também foram encontrados vários trabalhos realizados na China, os quais tinham apenas o resumo em inglês e o restante da publicação em idioma local não dominado pelo autor do presente trabalho. Considerando que o resumo seria insuficiente para a coleta dos dados de referência, tais artigos não puderam ser estudados.

Foram identificadas 39 diferentes instituições de ensino e pesquisa participando dos estudos levantados. Na Tabela 4 são apresentadas todas as instituições que participaram na publicação de mais de um artigo. A instituição que mais participou de trabalhos foi a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) com 20 artigos, seguida da Universidade Federal do Paraná (UFPR) com 16 artigos e da Universidade Estadual Paulista (UNESP) com 8 artigos.

Tabela 4: Instituições que coordenaram a publicação de mais de um artigo abordando o uso de resíduo sólido do tratamento de esgoto na produção de mudas arbóreas

Instituição	Número de artigos
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)	20
Universidade Federal do Paraná (UFPR)	16
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	8
Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)	6
Universidade Federal de Lavras (UFLA)	6
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)	5
EMBRAPA Florestas	4
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES)	4
Universidad Politécnica de Madrid	4
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)	2
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS)	2
Universidad de Castilla-La Mancha	2
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)	2
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	2

Nos artigos encontrados, a aplicação do biossólido no substrato foi estudada para produção de mudas de 48 espécies arbóreas. Outra constatação é que a maioria dos trabalhos (74,6%) avaliou apenas uma espécie, oito trabalhos avaliaram duas e três artigos avaliaram três espécies. Foram encontrados cinco (7,9%) trabalhos que não utilizaram nenhuma espécie florestal, avaliaram apenas características físicas e ou químicas do material visando a produção de mudas florestais. Dos trabalhos registrados no Brasil, das 48 espécies encontradas, 50% foram espécies nativas da flora brasileira, a maioria delas de ocorrência no bioma Mata Atlântica.

A espécie mais estudada foi *Schinus terebenthifolia* Raddi (aroeira pimenta) avaliada em cinco trabalhos (Figura 2). A facilidade de coleta de sementes, germinação, produção de mudas e ocorrência ampla desta espécie no território nacional são características desejáveis para a utilização em experimentos. Também a sua rusticidade e rápido crescimento que, em geral, facilitam a observação de resposta da espécie a diferentes tratamentos.

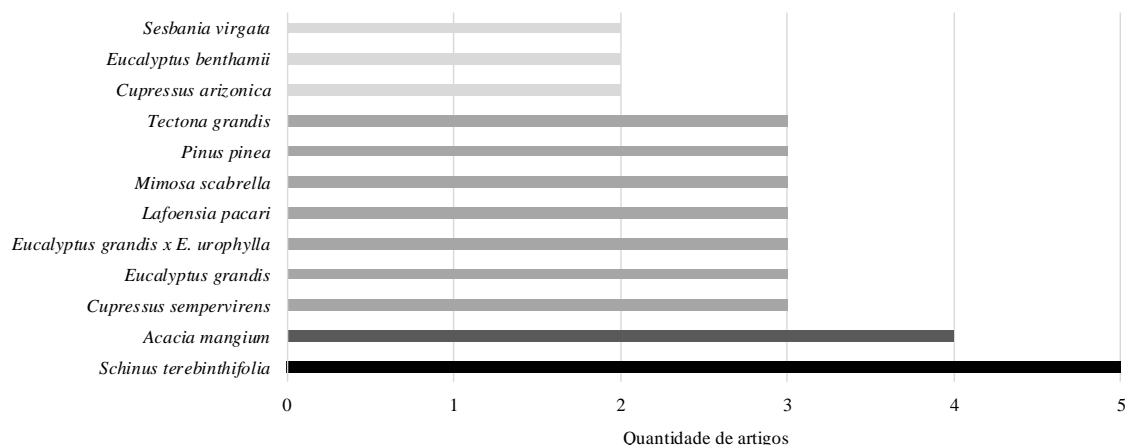


Figura 2: Espécies florestais mais estudadas nos trabalhos abordando o uso de resíduo sólido do tratamento de esgoto na produção de mudas arbóreas.

Estudos sobre o uso de bio-sólido na produção de mudas de espécies arbóreas utilizadas na silvicultura foram comuns. Nove (14,3%) artigos avaliaram espécies ou híbrido do gênero *Eucalyptus*, seis avaliaram o gênero *Acacia*, seis de *Cupressus* e cinco (7,9%) artigos abordaram espécies de *Pinus*, os quais juntos corresponderam a quase metade dos trabalhos publicados (41,2% do total).

Em geral, os trabalhos avaliados não se preocuparam com a descrição dos processos do tratamento do esgoto e lodo que deram origem aos bio-sólidos utilizados em seus experimentos. As características físicas e químicas dos bio-sólidos podem variar bastante de acordo com o tratamento do esgoto e do lodo realizado em cada estação de tratamento de esgoto (BETTIOL e CAMARGO, 2006). A caracterização detalhada do material é importante para determinar quais processos de tratamento geram bio-sólidos mais aptos para utilização como substrato. No estudo de Bonnet et al. (2002) dois tipos de bio-sólido, um de secagem térmica e o outro compostado com resíduos vegetais, foram avaliados. Os autores observaram mortalidade de mudas de *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus viminalis* em substratos com lodo seco termicamente, o que foi atribuído ao alto pH deste material, que impactou na absorção de nutrientes. Em contrapartida, os maiores crescimentos foram observados em tratamento com 60/40% de lodo compostado e substrato comercial.

Estudando três bio-sólidos diferentes, um seco termicamente e dois que permaneceram por 90 dias em leitos de secagem a céu aberto, Abreu et al. (2017b) observaram melhores resultados para mudas de *Lafoensia pacari* no bio-sólido seco termicamente. O resultado foi atribuído ao maior teor de nutrientes desse material em comparação com os demais. Os dois outros bio-sólidos apresentaram resultados semelhantes e superiores aos outros tratamentos, um substrato comercial a base de casca de pinus e um composto gerado a partir de lixo urbano.

Os trabalhos de Bonnet et al. (2002) e Abreu et al. (2017b) apresentam dados contrastantes para bio-sólidos secos termicamente, a descrição dos materiais nos artigos não foi suficiente para identificar as possíveis causas dessa diferença. Com as informações presentes nos artigos, é possível inferir que no trabalho de Bonnet et al. (2002) o alto pH observado tenha sido resultado da calagem aplicada ao bio-sólido antes da secagem térmica, ao mesmo tempo que tal prática não foi descrita para o bio-sólido utilizado por Abreu et al. (2017b). Os resultados apresentados por esses dois trabalhos ilustram como é importante que os artigos apresentem uma boa caracterização do bio-sólido em sua metodologia, assim como diferentes tratamentos de esgoto e lodo utilizados nas ETEs podem influenciar na qualidade do bio-sólido visando sua

utilização na produção de mudas de espécies arbóreas. Além disso, há demanda por mais pesquisas com produção de mudas em diferentes bio-sólidos, bem como a identificação de quais processos geram um material com melhores características.

### 2.3.1. Características químicas de bio-sólidos utilizados na produção de mudas

A análise química dos bio-sólidos ou substratos com eles formulados foi uma preocupação para quase todos os trabalhos encontrados (95,7%). Destes 60 artigos, 28 avaliaram tanto o bio-sólido quanto os substratos utilizados, 17 avaliaram apenas o bio-sólido e 14 (23,3%) apenas os substratos testados. Observou-se no levantamento que a metodologia aplicada para a realização dessas análises, bem como os elementos químicos avaliados foram variáveis.

Pela Figura 4 observa-se que 18 (30%) dos artigos apresentaram análises químicas de macro e micronutrientes, 12 avaliaram macro, micronutrientes e metais pesados e outros 12 apenas macro. Nos demais trabalhos, 9 apresentaram análise de macronutrientes e metais pesados e outros 9 (15%) análises mais simples, de poucos elementos. A análise química do bio-sólido é de grande importância para auxiliar na interpretação dos resultados de experimentos que usam tal material no substrato para produção de mudas, justificando porque 51 (85%) artigos apresentaram análise de pelo menos de N, P, K Ca e Mg.

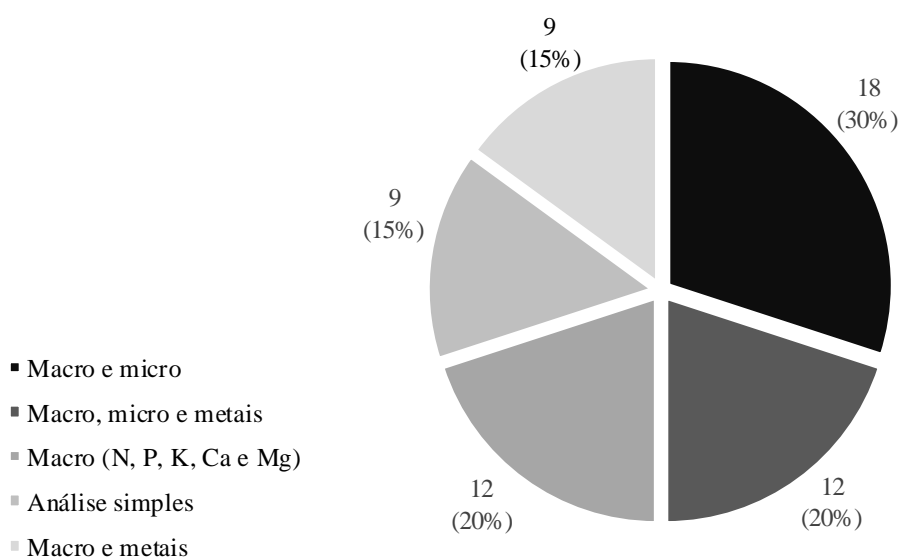


Figura 4: Tipos de análises realizadas em artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto na produção de mudas florestais.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375 de 2006 (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto (ou bio-sólido), determina que para utilização de tal material sejam realizadas análises de seu potencial agrônomo (teores totais de macronutrientes) e substâncias potencialmente tóxicas (metais pesados). Dos artigos avaliados, apenas 21 (35%) apresentaram análises que atendiam a tal critério. Deve-se considerar que parte dos trabalhos é anterior a resolução ou foi realizado fora do Brasil, bem como que a maioria não tinha como objetivo caracterizar o material.

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio foi o elemento mais apresentado pelos trabalhos, seguido pelo fósforo, potássio, cálcio e magnésio, todos avaliados em mais de

49 (81,7%) artigos (Figura 5). O elemento enxofre foi avaliado por 31 artigos e o carbono por 22.

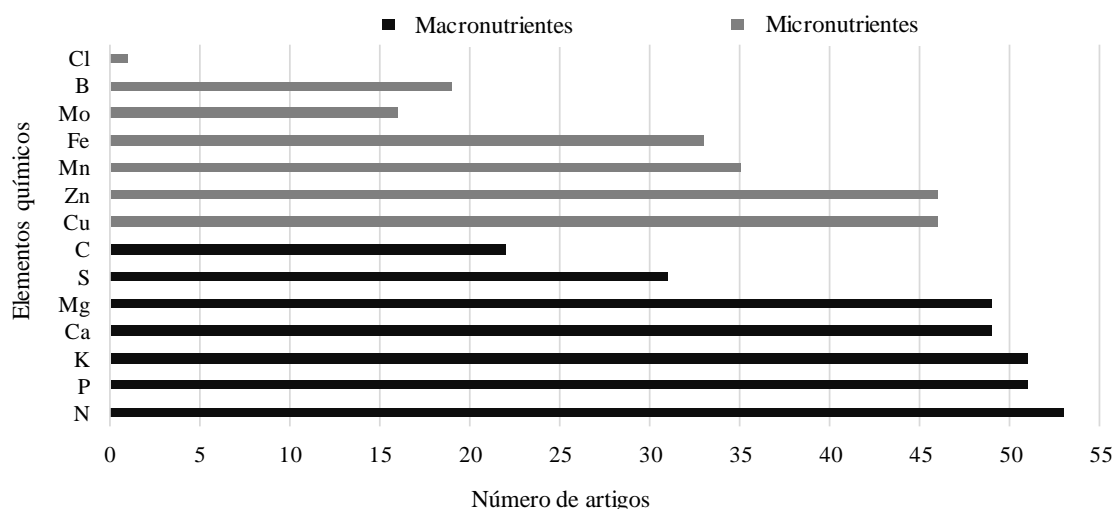


Figura 5: Quantidade de análises realizadas para diferentes macros e micronutrientes em artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto na produção de mudas de espécies arbóreas.

O nitrogênio é um dos elementos químicos de maior presença no biofóssido, sendo também fundamental para o crescimento inicial de mudas de espécies arbóreas, o que justifica ele ter sido avaliado com mais frequência. A aplicação de biofóssido em geral proporciona aumento nos teores de N do substrato (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; HERNÁNDEZ-APAOLOZA et al., 2005; MAÑAS et al., 2009). No entanto, grandes elevações nos teores de N podem ocasionar consequências indesejáveis para o crescimento das mudas, como observado em Bonnet et al. (2002), onde ocorreu estiolamento das mudas de *Mimosa scabrella* em substrato com 100% de composto de lodo.

O fósforo e o potássio foram os elementos mais avaliados depois do nitrogênio. O P é um nutriente fundamental no crescimento radicular, seus teores no biofóssido, em geral são elevados, sendo por vezes maiores que os observados para outros resíduos sólidos (LÓPEZ et al., 2008). O K é um elemento importante na regulação do fluxo de seiva das plantas, em geral ele apresenta baixos teores no biofóssido, sendo sugerida a formulação de substratos com materiais que possam elevar o teor deste nutriente, como a casca de arroz carbonizada (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004). Na aplicação agrícola do biofóssido é comum realizar fertilização química para complementar as concentrações de K (BETTIOL e CAMARGO, 2006). No entanto, os teores de K presentes no lodo podem ser suficientes para atender a demanda nutricional de mudas florestais (NÓBREGA et al., 2007; LÓPEZ et al., 2008).

Outro nutriente que se observa em alta concentração no biofóssido é o Ca, fato decorrente da calagem, frequentemente utilizada para higienização do material (MAÑAS et al., 2009; HIGASHIKAWA et al., 2016). O excesso de Ca no substrato pode levar a redução da absorção de K (BONNET et al., 2002), tal efeito foi observado para *Eucalyptus grandis* em substratos com biofóssido na composição (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003). Para biofóssidos com baixas concentração de K esse problema pode demandar correção por meio de fertilização química. A adição de biofóssido ao substrato também pode estimular a ocorrência de efeitos sinérgicos na absorção de nutrientes pelas plantas. Para a espécie *Pistacia lentiscus* L. cultivada em substratos



contendo biossólidos, Ostos et al. (2008) observaram sinergia na absorção de nitrato e Ca, bem como para nitrato e P.

Os micronutrientes mais avaliados foram o cobre e o zinco, apresentados em 46 (76,7%) artigos. Ambos elementos são considerados metais pesados, potencialmente poluentes, justificando o maior interesse na análise de seus teores. O manganês foi avaliado em 35 artigos e o ferro em 33 (55%). Elementos como o boro, molibdênio e cloro foram pouco avaliados, provavelmente devido a menor demanda desses elementos no crescimento das mudas e ou eventuais dificuldades e custos para a realização dessas análises.

Os elementos alumínio, apresentado em 26 (43,3%) artigos, e sódio, avaliado em 29 (48,3%) trabalhos, embora não sejam considerados nutrientes, foram avaliados por muitos trabalhos. O Al provavelmente por fazer parte das rotinas de avaliação de fertilidade, por possuir relação com a acidez dos solos e substratos, bem como por ser tóxico às plantas, quando em altos níveis. O sódio provavelmente por ser um dos elementos que contribui na salinidade do substrato, além de ser considerado, dentro de certo limite, benéfico para as plantas.

Observa-se na Tabela 5 que os biossólidos avaliados nos artigos encontrados foram variáveis em relação a sua composição química. Isto confirma as observações de diversos autores de que existem variações entre biossólidos, que podem ser decorrentes das características do esgoto coletado em cada estação de tratamento, a origem urbana ou industrial, os diferentes padrões de consumo de populações de bairros de uma mesma cidade, os processos utilizados para tratamento de esgoto e lodo, tempo e forma de estocagem dos materiais, dentre outros fatores (BETTIOL e CAMARGO, 2006; BERTON e NOGUEIRA, 2010; CARVALHO et al., 2015; ABREU et al., 2017c)

Tabela 5: Valores mínimos, médios e máximos ( $\text{g kg}^{-1}$ ) encontrados para teores totais de macronutrientes nos biossólidos e compostos a base de lodo de esgoto avaliados nos artigos levantados

	<b>Mínimo</b>	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>
N	1,1	19,5	42,3
P	1,8	7,6	17,3
K	0,8	3,0	7,3
Ca	2,4	24,2	111,7
Mg	0,2	3,1	7,5

Referências: Guerrini e Trigueiro (2004); Faustino et al. (2005); López et al. (2008); Ostos et al. (2008); Ribeiro et al. (2009); Basil et al. (2009); Scheer et al. (2010); Caldeira et al. (2012a); Faria et al. (2013a); Rocha et al. (2013); Kratka e Correia (2015); Silva et al. (2015); Abreu et al. (2017a); Cabreira et al. (2017b); Abreu et al. (2017b); Faria et al. (2017); Bortolini et al. (2017); e Siqueira et al. (2018).

Os metais pesados foram avaliados em 46 (76,7%) artigos. Na Figura 6 são apresentados os elementos que tem análise exigida pela resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Os elementos mais citados foram o cobre e o zinco, que também possuem importância na nutrição das plantas, tendo em vista que são micronutrientes. O chumbo foi avaliado em 36 (60%) dos artigos, já que constitui um dos principais poluentes inorgânicos, bem como o cádmio (35 – 58,3%), cromo (33 – 55%) e níquel (30 – 50%).

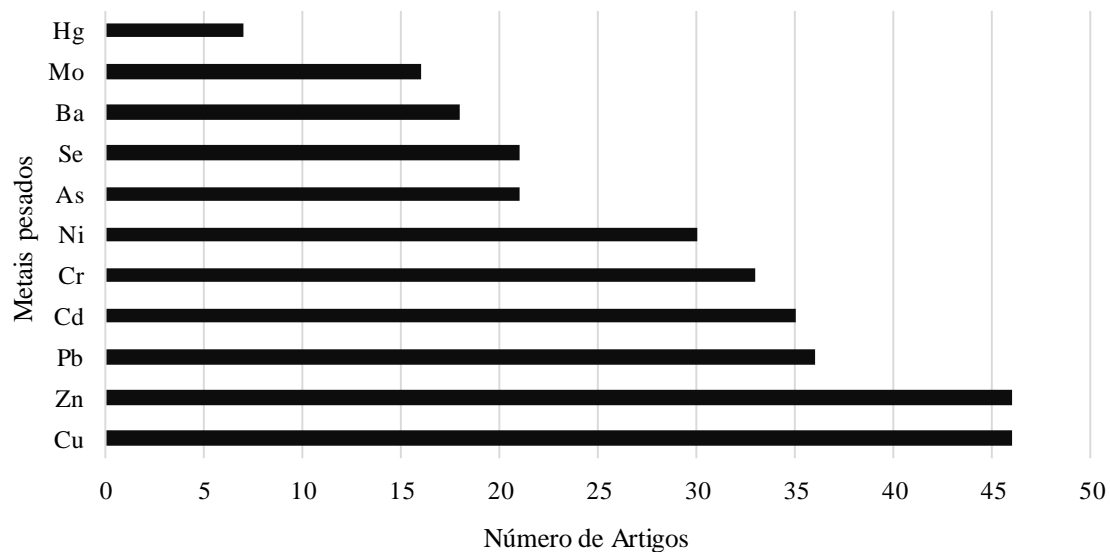


Figura 6: Quantidade de análises realizadas para diferentes metais pesados citados na resolução nº 375/2006 do CONAMA em artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto na produção de mudas arbóreas.

Os demais metais (As, Se, Ba, Mo e Hg) foram avaliados por menos de 25 artigos, provavelmente devido à dificuldade e ou maior custo para realização de tais análises. Além de exigida pela CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), a análise desses elementos é de fundamental importância para garantir a segurança na utilização do biossólido na produção de mudas, evitando a contaminação do solo, da água e principalmente dos trabalhadores do viveiro que tem contato direto com o material.

Quando comparado com outros compostos orgânicos, o biossólido apresenta maiores concentrações de metais pesados, principalmente os provenientes de ETEs que recebem efluentes de origem industrial (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Sendo o Zn e o Mn geralmente os de maior concentração (HIGASHIKAWA et al., 2016). Não foi encontrado nenhum estudo no qual a aplicação de biossólido promoveu concentração elevada de metais pesados no substrato ou efeitos de toxidez nas mudas florestais. O que pode ser atribuído ao fato de que os metais pesados encontrados nos biossólidos em geral estão complexados na matéria orgânica e, portanto, pouco disponíveis no substrato (NÓBREGA et al., 2007; MARTINS et al., 2012).

A análise química dos tecidos das mudas foi realizada em 30% dos artigos. Tais análises são importantes para avaliar a nutrição das mudas, bem como confirmar eventuais efeitos de toxidez provocada por excesso de determinados elementos no substrato. Os poucos trabalhos avaliando análise de tecidos podem estar relacionados aos custos dessas análises e a dificuldade de interpretação dos resultados, considerando a diversidade de espécies arbóreas, suas diferentes exigências e características e as poucas referências existentes sobre o tema.

Em geral, mudas bem nutridas, apresentam maiores chances de sobreviverem às condições de campo e apresentarem maior crescimento inicial (GROSSNICKLE, 2012; GROSSNICKLE e MACDONALD, 2018). Maior concentração de nutrientes nos tecidos vegetais de *E. grandis* foi observada por Trigueiro e Guerrini (2003) em substratos com biossólido em sua composição. Resultado semelhante foi observado por Ostos et al. (2008) para *Pistacia lenticus*. No entanto, trabalhos apresentam dados conflitantes, como em Basil et al. (2009), onde a concentração de nutrientes nos tecidos de *Austrocedros chilensis* foi semelhante entre tratamentos com e sem biossólido,

diferindo apenas para o Mg, que foi maior em substrato com maior dose de biofóssido. Cunha et al. (2006) observaram maiores teores de N e Ca na parte aérea de mudas de *Acacia mangium* e de *Acacia auriculiformis* produzidas em substrato contendo somente biofóssido, enquanto os maiores teores de P e K foram observados no substrato contendo subsolo argiloso, areia e esterco bovino em proporções volumétricas iguais. Tais diferenças de resultados podem ser atribuídas às espécies, biofóssido e formulações de substratos utilizados e às técnicas aplicadas para produção de mudas.

Em substrato com 40% de composto de lodo de esgoto com restos de poda (1:3), Ostos et al. (2008) observaram as maiores concentrações de metais pesados dentre os tratamentos avaliados, o que não refletiu em diferenças nas concentrações de metais pesados nos tecidos das plantas de *Pistacia lenticus*. Considerando que o maior crescimento das mudas também foi observado nesse tratamento, os autores sugeriram ocorrer um efeito de diluição dos metais nos tecidos das plantas.

A fertilização foi abordada em 16 trabalhos. Desses, 2 avaliaram diferentes doses de fertilizante em substratos com e sem biofóssido, 7 avaliaram substratos com biofóssido sem fertilizantes e substrato padrão (controle ou testemunha) com fertilizante e 7 avaliaram a aplicação ou não de fertilizantes tanto em substratos com biofóssido como no controle. A utilização de biofóssido no substrato propicia oferta de nutrientes para as plantas, substituindo parcial ou integralmente a necessidade de fertilizantes químicos no processo de produção de mudas florestais (LÓPEZ et al., 2008). Ribeiro et al. (2009) observou para *Pinus pinea* que a adição de 50% de biofóssido compostado com serragem (1:3) a substrato com turfa reduziu pela metade a necessidade de fertilização com macronutrientes e não houve necessidade de aplicação de fertilizante com micronutrientes. Scheer et al. (2010) mencionam que na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan a utilização de composto a base de lodo de esgoto e restos de poda triturados (proporções de 2:1 e 3:1) como substrato é suficiente para atender as demandas nutricionais das mudas, dispensando fertilização mineral. No entanto para substituir a fertilização química é necessário conhecer a dinâmica de disponibilização dos nutrientes contidos no biofóssido, bem como a necessidade nutricional da espécie a ser produzida (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

Há trabalhos que demonstram maior crescimento com fertilização mineral em relação à aplicação de biofóssido no substrato, como o de Guerrero et al. (2002) em que o maior crescimento de *Pinus pinea* e *Cupressus arizonica* foi observado em substrato com 100% de casca de pinheiro e fertilizante de liberação lenta em comparação a substrato onde foi adicionado 15% de composto de biofóssido com serragem (5:1). Os autores relataram que apesar das diferenças no crescimento, as mudas foram comercializadas pelos mesmos valores, ou seja, atingiram o mesmo padrão de qualidade.

### **2.3.2. Matéria orgânica e relação C/N**

O teor de matéria orgânica (MO) foi apresentado em 36 (60%) trabalhos. Essa análise é importante tendo em vista que o biofóssido em geral é adicionado ao substrato como fonte de MO, visando favorecer a retenção de nutrientes e água, bem como ser fonte dos mesmos (NÓBREGA et al., 2007; DEDE et al., 2010). A relação C/N foi avaliada em 20 (33,3%) artigos, tal dado permite inferir sobre a estabilidade do material, sendo que a incorporação de biofóssido ao substrato tende a diminuir os valores da relação C/N, facilitando a degradação de compostos orgânicos presentes em outros materiais utilizados no substrato, como turfa e casca de pinheiro (ZAPATA et al., 2005; HERNÁNDEZ-APAOLAZA e GUERRERO, 2008).

A matéria orgânica é a principal componente do bio sólido, com teores em torno de 40 a 50%. Faustino et al. (2005) observaram maior crescimento de mudas de *Senna siamea* em altura, diâmetro e biomassa em substratos com doses de 50 e 75% de lodo de esgoto, os quais apresentaram maiores teores de matéria orgânica. Nóbrega et al. (2007) relataram que a adição de bio sólido ao substrato conferiu aumento na CTC, favorecendo a retenção de nutrientes em sua forma disponível para as plantas. Bonnet et al. (2002) citam que o bio sólido apresenta a capacidade de reter nutrientes em sua fração orgânica, evitando sua lixiviação. Dede et al. (2010) mencionam que os lodos de esgoto aplicados em substratos para produção de mudas, podem funcionar como fertilizantes de liberação lenta, disponibilizando os nutrientes presentes na matéria orgânica de acordo com sua dinâmica de decomposição, evitando perdas excessivas por lixiviação de nutrientes.

### 2.3.3. pH

As análises de pH foram feitas por 51 (85%) artigos, sendo muito realizada já que esse pode ser um fator limitante a aplicação do bio sólido que passou por calcinação em substratos (BONNET et al., 2002). Em geral, o pH pode ser manejado por meio da adição de outros componentes ao substrato. A utilização de bio sólido alcalino pode apresentar inclusive efeito benéfico, como o observado por Faustino et al. (2005) que, avaliando diferentes proporções de bio sólido (0, 25, 50 e 75%) misturado a solo (horizontes subsuperficiais), observaram incremento do pH, com o aumento nas proporções de bio sólido no substrato, o que permitiu melhor absorção de nutrientes por *Senna siamea* Lam., tendo em vista que o pH do solo era de 4,8 e nos tratamentos com lodo variaram entre 5,5 e 6,5. Em estudo semelhante, Nóbrega et al. (2007) também observaram aumento do pH com maiores quantidades de bio sólido no substrato, verificando ainda decréscimo na saturação por Al, o que foi atribuído a provável complexação do mesmo na matéria orgânica.

### 2.3.4. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) foi apresentada por 27 artigos, considerando que a salinidade pode representar um problema para aplicação do bio sólido em maiores proporções em substratos para produção de mudas. Cai et al. (2010) estudaram as limitações em relação a porosidade e salinidade, visando o uso de composto a base de lodo de esgoto na produção de mudas de plantas agrícolas, apontando a salinidade como o fator mais limitante do uso de bio sólidos em substratos.

A salinidade pode ser controlada através da irrigação do substrato, tendo em vista que os sais tendem a drenar dissolvidos no excesso de água (Zapata et al., 2005). Em estudo com espécies coníferas Hernández-Apaolozza et al. (2005) demonstraram que, ao longo do cultivo das mudas em viveiro, a CE baixou para valores próximos aos recomendados por Gonçalves e Poggiani (1996) de 1 mS cm<sup>-1</sup>. Os valores iniciais de CE eram de 8,2 mS cm<sup>-1</sup> em substrato com 70/30% de casca de pinheiro e lodo compostado com serragem (5:1) e de 9,3 mS cm<sup>-1</sup> em substrato com 70/30% de fibra de coco e lodo compostado, os quais reduziram respectivamente para 2,2 e 2,9 mS cm<sup>-1</sup> no cultivo de mudas de *Pinus pinea*, 0,9 e 1,1 para *Cupressus arizonica* Greene e 1,9 e 2,5 para *Cupressus sempervirens* (HERNÁNDEZ-APAOLOZA et al., 2005). Tais resultados demonstram que a redução na condutividade elétrica não ocorre apenas pela lixiviação de íons, também sendo influenciada pelos padrões de absorção de nutrientes das diferentes espécies.

Comprovando o efeito da irrigação sobre a diminuição da salinidade, Bugbee (2002), avaliando 24 espécies ornamentais, observou que em substratos com maiores doses de composto, formado por chips de madeira e lodo de esgoto (3:1), as plantas se mostraram atrofiadas e cloróticas nas primeiras semanas de cultivo, o que foi atribuído aos altos teores de sais e nitrogênio amoniacal. No entanto, o autor observou que as plantas se recuperaram no meio do processo de produção e chegaram ao final dele com crescimento e aspecto superiores aos das plantas de tratamentos que levaram menores quantidades de composto.

Também é mencionado que as espécies florestais aparentemente apresentam maior resistência a salinidade (Ribeiro et al., 2009). Como exemplo, em Guerrero et al. (2002) a casca de pinheiro utilizada na composição do substrato já apresentava alta salinidade ( $4,6 \text{ mS cm}^{-1}$ ), ao adicionar 15% de composto de lodo de esgoto e serragem (5:1), o valor no substrato ficou em  $8,1 \text{ mS cm}^{-1}$ , apesar disso não foi observada limitação no crescimento das coníferas *Pinus pinea* e *Cupressus arizonica*. López et al. (2008) não observaram diferenças na sobrevivência, crescimento em altura e diâmetro de mudas de *Cupressus sempervirens* em substratos formados por composto de lodo com restos de poda (1:3) e turfa. Considerando as proporções de 0/100 25/75, 50/50 e 75/25%, os valores de condutividade elétrica (CE) variaram entre 0,2 e  $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ , apontando que tal espécie tolera CE de  $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ , podendo até tolerar valores um pouco maiores. Basil et al (2009) verificaram valor de  $1,2 \text{ mS cm}^{-1}$  para CE de composto de lodo de esgoto, considerando que o crescimento das mudas de *Austrocedros chilensis* foi maior no substrato com 50% de composto, os autores afirmaram que a salinidade não foi fator limitante, sugerindo que para espécie e o composto estudado a proporção no substrato poderia ser maior, o que poderia inclusive ocasionar maior crescimento.

### **2.3.5. Características físicas de biossólidos utilizados na produção de mudas**

A análise física do biossólido ou dos substratos com ele formulados foi uma preocupação para 50,8% artigos levantados, percentual que pode ser considerado baixo, devido a importância dessa análise para auxiliar na formulação de substratos. Dos 32 artigos que apresentaram informações de análise física, verifica-se pela Figura 7 que a densidade aparente e porosidade total, ambos apresentados em 28 artigos, foram os parâmetros mais considerados, seguidos pela macroporosidade (27), microporosidade (24) e capacidade de retenção de água (19). Outros parâmetros foram mencionados em menor quantidade de artigos e não estão apresentados na Figura 7, dentre eles granulometria, espaço de aeração, água facilmente ou dificilmente disponível.

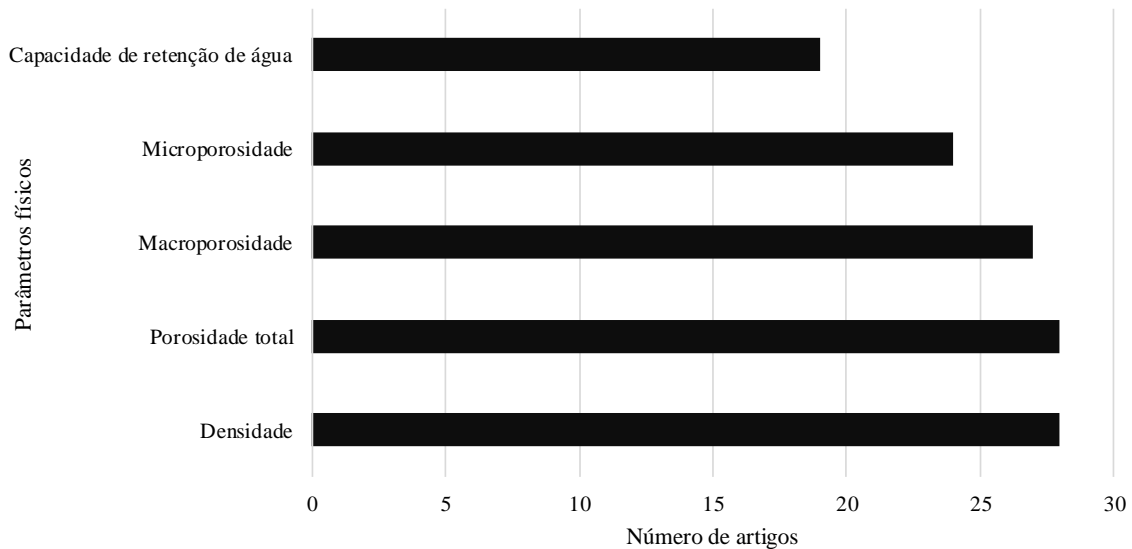


Figura 7: Quantidade de análises de diferentes parâmetros físicos realizadas em artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto como substrato na produção de mudas arbóreas.

De modo geral, o biossólido ocasiona ao substrato o aumento da densidade, da microporosidade e da capacidade de retenção de água e, por outro lado, proporciona uma diminuição da macroporosidade, da aeração e da capacidade de drenagem (GUERRERO et al., 2002; GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; HERNÁNDEZ-APAOLOZA et al., 2005; LÓPEZ et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009). Considerando a influência que a adição de biossólido ao substrato pode ter nesses parâmetros, justifica-se que eles tenham sido os mais avaliados nos artigos levantados.

Em Guerrini e Trigueiro (2004) foram avaliadas as características físicas de substratos com doses crescentes de até 100 % de biossólido, os autores constataram que quanto maior a proporção de lodo, menor era a macroporosidade, o que comprometeu a aeração do substrato e o desenvolvimento do sistema radicular. Em substratos mais coesos, as raízes encontram dificuldade de se expandir, já que necessitam de mais força para deslocar o substrato (GUERRERO et al., 2002; ZAPATA et al. 2005). Tal condição foi relatada por Trigueiro e Guerrini (2003) para *E. grandis*, onde altas doses de biossólido afetaram o crescimento e a qualidade das mudas, prejudicando o enraizamento.

A diminuição de macroporos pode também dificultar a drenagem da água de irrigação no substrato, provocando estresse por excesso de água (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; MAÑAS et al., 2009; HIGASHIKAWA et al., 2016). Ribeiro et al. (2009) citam ainda que, apesar do aumento na microporosidade promover ganho na capacidade de retenção de água, a mesma fica retida a altas tensões, portanto indisponível para as plantas. Em substratos misturando turfa e lodo compostado com restos de poda (1:3), López et al. (2008) observaram a ocorrência de problemas físico-hídricos severos em proporções a partir de 50% de composto.

Quando as características físicas do biossólido limitam sua utilização, a combinação com outros materiais é necessária para a composição de um substrato adequado a produção de mudas florestais. Hernández-Apaolozza et al. (2005) testaram substratos com proporções de 0, 15 e 30% de composto de lodo com serragem (5:1) combinados a casca de pinheiro ou fibra de coco, observando que os substratos com a

fibra de coco apresentaram menor densidade aparente, enquanto aqueles com a casca de pinheiro, apresentaram maior capacidade de retenção de água.

Para produção de mudas de *Pinus pinea*, Ribeiro et al. (2009) observaram que o substrato com 50/50 de lodo compostado com serragem de pinheiro (1:3) e turfa apresentou boas características físicas, aumentando a porosidade e diminuindo a densidade em relação aos demais tratamentos com doses maiores e menores de lodo de esgoto.

### **2.3.6. Germinação de sementes**

A germinação das sementes em substratos com biossólido na composição foi avaliada em 14 trabalhos (22,2%). Este valor pode ser considerado baixo, pois a taxa de germinação de sementes pode ser afetada pela adição de biossólido ao substrato, geralmente apresentando um efeito inibitório, conforme observado por Roberts et al. (2001), para espécies de flores ornamentais. O baixo número de trabalhos abordando essa questão pode ser atribuído ao fato de que para espécies arbóreas, principalmente as nativas da flora brasileira, é comum que a germinação das mudas seja realizada em sementeiras, com posterior repicagem para o recipiente. Produzindo a muda dessa forma, não haveria influência do substrato com biossólido na germinação das sementes.

As causas de uma menor germinação em substratos com biossólido podem estar relacionadas a composição química do material, podendo decorrer de alta salinidade (ZAPATA et al., 2005) ou da presença de substâncias inibidoras e ou tóxicas no biossólido (MAÑAS et al. 2010). Características físicas como porosidade, capacidade de retenção de água e oxigenação do substrato também podem exercer efeitos negativos na germinação (MAÑAS et al., 2010).

A germinação de espécies arbóreas aparentemente é menos afetada pela presença de biossólido no substrato do que para outras espécies vegetais (LÓPEZ et al., 2008; MAÑAS et al. 2010; MAÑAS et al. 2009; RIBEIRO et al., 2009). Como exemplo, em López et al. (2008) não foram observados problemas na germinação de *Cupressus sempervivens* L. em substratos formados por composto de lodo com restos de poda (1:3 v:v) e turfa. Considerando as proporções de 0/100, 25/75, 50/50 e 75/25%, os valores de condutividade elétrica (CE) variaram entre 0,2 e 1,8 mS cm<sup>-1</sup>, atestando que tal espécie tolera CE de pelo menos 1,8 mS cm<sup>-1</sup> para sua germinação.

No entanto, efeitos podem ser observados quando o biossólido é aplicado em altas proporções, como em Trigueiro e Guerrini (2003), onde a menor germinação e sobrevivência de *Eucalyptus grandis* foi verificada em substratos com alta dose (80%) de biossólido. O tipo de tratamento recebido na ETE também pode exercer influência na germinação de sementes. Para *Pinus halepensis* Mill., Mañas et al. (2010) observaram melhor germinação em substratos com lodos primários em comparação aos ativados. Valores em torno de 20% de germinação foram observados em substrato com lodo ativado e casca de pinheiro. Para o lodo primário, a germinação ficou em torno de 50 a 60% em diferentes misturas com casca de pinus ou turfa. A causa de diferença da germinação entre os materiais foi atribuída a menor oxigenação do substrato com lodo ativado, que possuía menor macroporosidade. Os resultados apresentados justificam novas pesquisas abordando a germinação de espécies arbóreas em substratos com biossólido na composição.

### **2.3.7. Proporção de lodo de esgoto no substrato**

Dos 63 trabalhos encontrados, 77,8% avaliaram diferentes proporções de bio sólido no substrato para produção de mudas de espécies arbóreas. Os demais trabalhos avaliaram ou uma proporção fixa ou o bio sólido puro em comparação com outros materiais ou substratos. A proporção de bio sólido a ser aplicado no substrato é assunto controverso, com recomendações que variam muito, desde 30% de bio sólido compostado com serragem (5:1 v:v) (HERNÁNDEZ-APAOLOZA et al., 2005), até 100% de bio sólido compostado (CALDEIRA et al., 2012b). Tais recomendações variam de acordo com a espécie cultivada e as características do bio sólido a ser utilizado (MAÑAS et al., 2009; MAÑAS et al., 2010).

Conforme abordado nos diferentes tópicos da presente revisão, altas proporções de bio sólido no substrato tendem a refletir em menor crescimento das mudas devido a limitações de ordem física (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003), aumento na salinidade do substrato (HERNÁNDEZ-APAOLOZA et al., 2005), aumento no pH (BONNET et al.; 2002) e toxidez por metais pesados ou micronutrientes. O menor crescimento de *Pinus pinea* foi observado por Ribeiro et al. (2009) em substrato com 100% de composto de lodo de esgoto com serragem de pinheiro (1:3), o que foi atribuído a alta CE e características físicas inadequadas, atestando que tal material não poderia compor o substrato sozinho, devendo ser misturado a outros que baixassem sua CE e melhorassem características físicas. Em contrapartida Caldeira et al. (2012a) observou maior crescimento de *Tectona grandis* L.f. em substratos contendo bio sólido em comparação com substrato comercial. Recomendando adição de 60% ou mais de bio sólido ao substrato, considerando inclusive o substrato com 100% de lodo viável para produção de mudas dessa espécie.

Geralmente a resposta de crescimento de mudas florestais em relação a proporções crescentes de lodo de esgoto no substrato é quadrática (RIBEIRO et al., 2009), com aumento do crescimento até determinada dose e decréscimo nas maiores. Com isso, constam na literatura em maior quantidade, os trabalhos recomendando proporções de até 50% de lodo de esgoto no substrato, como Trigueiro e Guerrini (2003) que recomendaram para *Eucalyptus grandis* substratos com proporções em torno de 40 a 50% de lodo, as quais obtiveram crescimento igual ao da testemunha, substrato comercial com fertilização tradicional. Os autores verificaram que altas doses de bio sólido afetaram o crescimento e a qualidade das mudas, pois apresentaram características físicas deficientes.

Além da proporção de bio sólido, também é importante avaliar os materiais que são misturados ao mesmo para composição de substratos. Conforme ilustrado na Figura 8, a casca de pinus foi o material mais utilizado (21 trabalhos) para composição de substratos contendo bio sólido. Dentre os componentes mais comuns encontram-se a terra de subsolo, citada em 13 artigos, a casca de arroz carbonizada e fibra de coco, ambas citadas em 11 trabalhos e a turfa de esfagno utilizada por 10 trabalhos. No total, 23 materiais foram misturados ao bio sólido para compor substratos visando a produção de mudas de espécies arbóreas. Além dos apresentados na Figura 8, também foram aplicados por mais de um trabalho o esterco bovino, palha de café, esterco ou cama de frango, casca de pupunha, serragem e moinha de carvão.



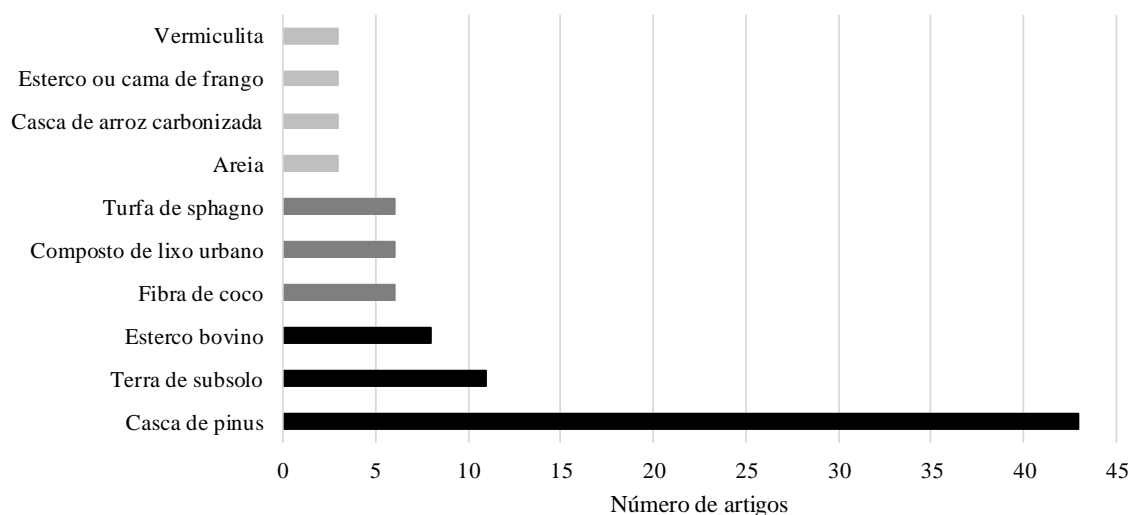


Figura 8: Materiais mais utilizados na composição de substratos utilizando resíduos sólidos de tratamento de esgoto para produção de mudas de espécies arbóreas.

A composição de substratos é variável de acordo com o valor e a disponibilidade local de cada componente (CARNEIRO, 1995). Esta maior aplicação da casca de pinus possui relação com a maior quantidade de trabalhos realizados por pesquisadores da região sul (Tabela 1), principalmente do Paraná (UFPR e SANEPAR), que concentra mais de 80% dos povoamentos de pinus do país, sendo abundante a casca de pinus como resíduo. Deve-se considerar que esse material é amplamente utilizado em substratos para produção de mudas florestais, sendo componente comum de formulações comerciais.

Outros fatores, como o recipiente a ser utilizado, também podem interferir na composição dos substratos. Para a produção em sacolas plásticas o substrato precisa formar um torrão coeso, que envolva a raiz das mudas e não se desfaça com o rompimento do recipiente no momento do plantio. Tal característica não é desejável para a produção em tubetes, considerando que ocasiona maior dificuldade para retirada do recipiente. Esses aspectos justificam os resultados observados, materiais como a casca de pinus, turfa e casca de arroz carbonizada foram preferidos na mistura em trabalhos onde o tubete foi recipiente, tendo vista sua capacidade de conferir maior macroporosidade e drenagem ao substrato, facilitando o crescimento das raízes. Já a terra de subsolo, possivelmente foi preferida para formular substratos para sacolas plásticas, onde a agregação é muito importante.

Estudos sobre a composição de substratos são de fundamental importância, já que uma pequena alteração pode representar diferença nas suas características, afetando o crescimento das mudas. Como observado por Caldeira et al. (2012c), onde o pior crescimento em altura para mudas de *Ateleia glazioviana* ocorreu em substrato com 90/10% de biossólido e solo. O maior crescimento foi observado em substrato semelhante, com 80/10/10% de biossólido, substrato comercial a base de casca de pinus e solo. Os autores atribuíram tal diferença a ausência de material, no caso a casca de pinus, que promovesse aeração do substrato na primeira mistura.

Conforme observado na Figura 9, o material mais utilizado como testemunha, controle ou em tratamentos comparados aos substratos formulados com biossólido, foi a casca de pinus e substratos comerciais em que ela era o principal componente, utilizada em 43 artigos. Na produção de mudas em tubetes é comum a utilização de substratos à base de casca de pinus, existindo diferentes produtos comerciais fabricados a partir

desse material. Por ser considerado o substrato padrão em muitos viveiros comerciais é justificável a comparação entre esse material e os substratos formulados com biossólido. O mesmo raciocínio pode ser estendido a materiais como a terra de subsolo, fibra de coco e turfa de esfagno.

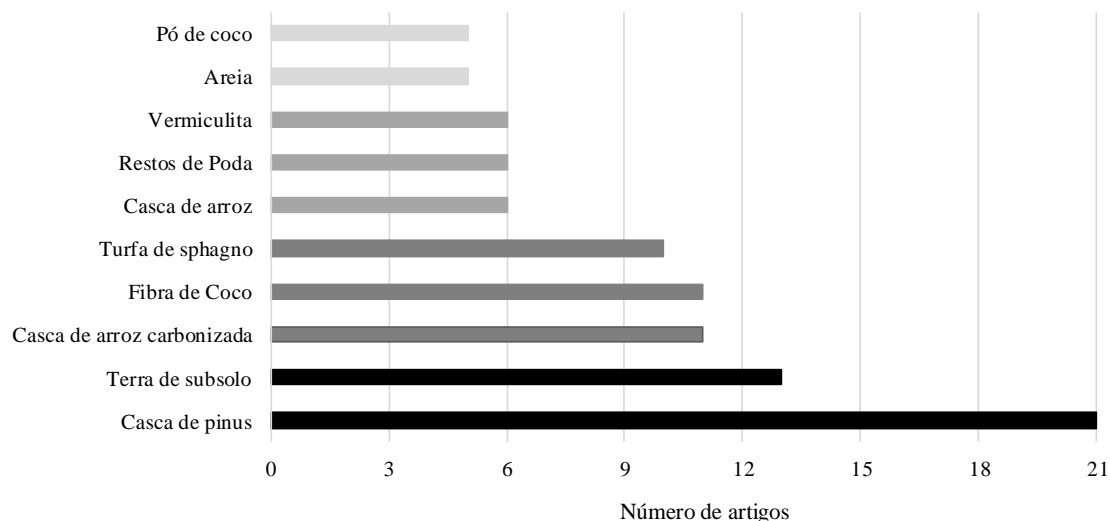


Figura 9: Materiais mais utilizados como testemunha, controle ou na formulação de substratos comparados com os produzidos utilizando resíduos sólidos de tratamento de esgoto na produção de mudas de espécies arbóreas.

Outros 18 materiais foram aplicados em comparação aos substratos formulados com biossólido, depois da casca de pinus, os mais citados foram a terra de subsolo, em 11 trabalhos, e o esterco bovino, em oito artigos. Substratos elaborados com compostos orgânicos como o esterco bovino, a cama de frango e os compostos de lixo urbano foram comparados ao biossólido com frequência, considerando a semelhança de tais materiais e a função que eles desempenham na formulação de substratos em geral fornecendo matéria orgânica e nutrientes.

Em comparação com outros compostos orgânicos, o desempenho do biossólido varia bastante de acordo principalmente com as características dos materiais e espécies avaliadas. Ostos et al. (2008) observaram maior crescimento e biomassa de *Pistacia lenticus* em substratos com lodo de esgoto em comparação com resíduos sólidos municipais. Dede et al. (2010) observaram maior crescimento de *Cupressus macrocarpa* em altura, diâmetro e biomassa em substratos contendo biossólido em comparação com outras fontes de matéria orgânica (resíduos municipais e esterco de aves) e testemunha com fertilizante de liberação lenta. Para a espécie *Ligustrum lucidum* os autores verificaram maior crescimento no esterco de frango e em seguida, no biossólido.

### 2.3.8. Crescimento das mudas

O crescimento das mudas florestais foi avaliado em 92,1% dos artigos encontrados. Outros cinco trabalhos avaliaram apenas características físicas e químicas do biossólido. A aplicação de biossólido em substrato, de modo geral, apresentou efeitos benéficos ao crescimento em altura, diâmetro e biomassa de mudas florestais (FAUSTINO et al. 2005; CALDEIRA et al., 2012b). Sendo assim, as diferentes

variáveis de crescimento são os parâmetros mais utilizados para avaliar o efeito da aplicação de biossólido em substrato para produção de mudas de espécies arbóreas.

Pela Figura 10 verifica-se que a altura das mudas, foi avaliada em 57 dos 58 trabalhos. A massa de matéria seca de raiz e parte aérea também foram bastante avaliadas, já que representam o ganho de biomassa das plantas, indicando quais tratamentos obtiveram a maior produção vegetal. O índice de qualidade de Dickson, bem como as relações entre altura e diâmetro (H/D) e parte aérea e raiz (PA/R), são utilizadas para expressar a qualidade das mudas, sendo avaliadas em diversos artigos. Outros parâmetros menos avaliados foram área foliar, número de folhas, formação / agregação do torrão, teor de clorofila e sobrevivência das mudas.

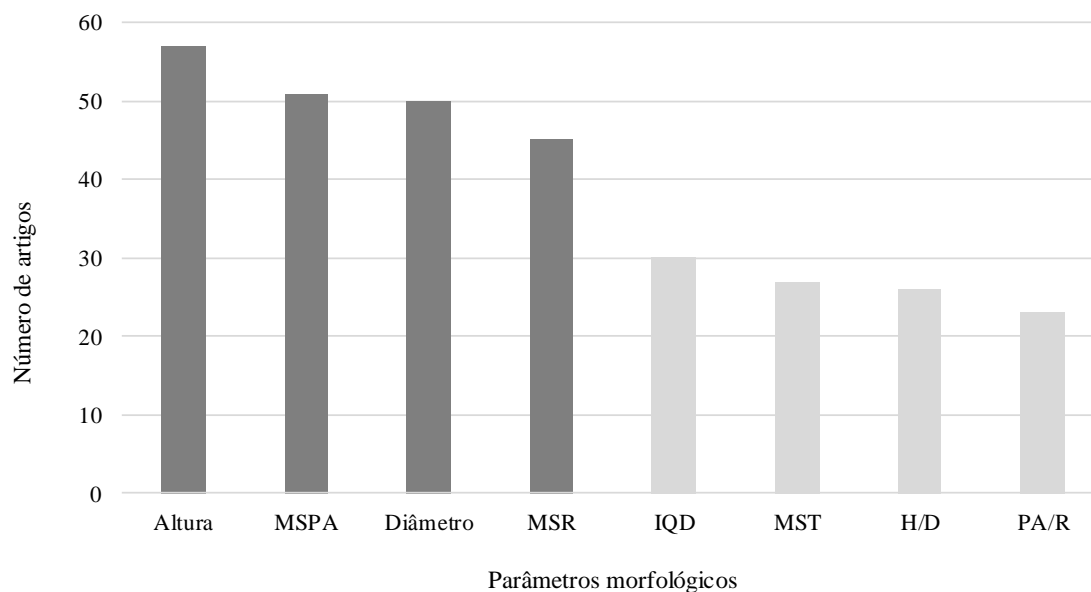


Figura 10: Parâmetros morfológicos avaliados em artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto como substrato na produção de mudas florestais. Onde: MSPA = massa de matéria seca da parte aérea; MSR = massa de matéria seca de raízes; IQD = índice de qualidade de Dickson; MST = massa de matéria seca total; H/D = relação altura e diâmetro; PA/R = relação parte aérea e raiz.

Conforme observado na Tabela 6 para *Schinus terebinthifolia*, espécie avaliada maior quantidade de vezes dentre os trabalhos levantados (Figura 2), a aplicação de biossólido ao substrato, em geral, ocasionou melhores resultados que o tratamento controle. Uma exceção foi o trabalho de Trigueiro e Guerrini (2014), no qual o maior crescimento foi observado em mudas produzidas no tratamento controle, com substrato comercial a base de casca de pinus, complementado com fertilização química. Os autores relatam que no início do experimento era observado maior crescimento das mudas em substratos com o biossólido. No entanto, com a realização de fertirrigação ao decorrer da produção, o substrato comercial proporcionou maior crescimento, o que foi atribuído às suas melhores características físicas.

Tabela 6: Resumo das proporções avaliadas, tratamento controle utilizado, comparação de crescimento entre o tratamento controle e um entre os demais avaliados, observações a respeito da pesquisa e dos resultados e referências dos artigos levantados sobre a utilização de resíduo sólido do tratamento de esgoto para produção de mudas de espécies arbóreas

Espécie	Proporções	Tratamento controle	Crescimento comparado ao tratamento controle	Observações	Referências
<i>Schinus terebinthifolia</i>	15 e 30% de bioestabilizado seco termicamente. 30, 60 e 100% de bioestabilizado compostado com restos de poda. Mistura com substrato comercial (casca de pinus e vermiculita).	62,5% de substrato comercial (casca de pinus e vermiculita) + 37,5% vermicomposto	29% maior para altura, 9% maior para o diâmetro e 40% maior para biomassa no tratamento com 60% de bioestabilizado compostado	Recomendada proporção entre 30 e 60% de bioestabilizado compostado; O bioestabilizado seco termicamente não apresentou bons resultados devido ao alto pH.	Bonnet et al. (2002)
	20, 40, 60 e 80% de bioestabilizado. Mistura com terra de subsolo de duas classes de solo diferentes.	100% de Terra de subsolo de duas classes de solo diferentes	58% maior para a altura, 77% maior para o diâmetro e 83% maior para a biomassa no tratamento com 40% de bioestabilizado	Recomendou proporções entre 37 e 63% de bioestabilizado em mistura com terra de subsolo. Doses mais elevadas de bioestabilizado apresentaram menor crescimento.	Nóbrega et al. (2007)
	40, 50, 60, 70 e 80% de bioestabilizado. Mistura com casca de arroz carbonizada	100% de substrato comercial (60% casca de pinus, 15% de vermiculita e 25% de húmus e terra vegetal)	Maior crescimento observado no tratamento controle para todas as variáveis.	Recomendou proporções entre 40 e 60% de bioestabilizado em mistura com casca de arroz carbonizada. Doses mais elevadas de bioestabilizado apresentaram menor crescimento. Todos os tratamentos receberam fertirrigação.	Trigueiro e Guerrini (2014)
	25, 50 e 100% de bioestabilizado. Mistura com substrato comercial a base de casca de pinus.	100% substrato comercial a base de casca de pinus	80% maior para altura, 95% maior para o diâmetro e 107% maior para biomassa no tratamento com 100% de bioestabilizado	Recomendou substratos com 50 ou 100% de bioestabilizado. Nenhum tratamento recebeu fertilização.	Abreu et al. (2017a)
	Todos substratos compostos com 100% de bioestabilizado. Tratamentos eram doses de fertilizante de liberação controlada de 0, 3, 6 e 12 kg m <sup>-3</sup> de substrato.	100% bioestabilizado sem fertilização	14% maior para altura, 32% maior para o diâmetro e 32% maior para biomassa no tratamento com dose a dose de fertilizante de 3 kg m <sup>-3</sup>	Foi recomendada a dose de fertilizante de liberação controlada de 3 kg por m <sup>3</sup> de bioestabilizado	Cabreira et al. (2017b)
<i>Eucalyptus viminalis</i>	15 e 30% de bioestabilizado seco termicamente. 30, 60 e 100% de bioestabilizado	62,5% de substrato comercial (casca de pinus e vermiculita) + 37,5% vermicomposto	17% maior para altura, 18% maior para o diâmetro e 28% maior para biomassa no tratamento com 60%	Recomendada proporção entre 30 e 60% de bioestabilizado compostado; O bioestabilizado seco termicamente pode ser utilizado na	Bonnet et al. (2002)

	compostado com restos de poda. Mistura com substrato comercial (casca de pinus e vermiculita).		de biossólido compostado	proporção de 15%.	
<i>Eucalyptus benthamii</i>	50, 40, 30, 20 e 10% de biossólido. Mistura com casca de arroz carbonizada.	100% de substrato comercial a base de casca de pinus.	16% maior para altura, 19% maior para o diâmetro e 31% maior para biomassa em substrato com 30% de biossólido e 70% de casca de arroz carbonizada.	Não houve diferença entre os tratamentos. Valores um pouco maiores de crescimento e biomassa foram observados em substrato com 30% de biossólido e 70% de casca de arroz carbonizada.	Kratz et al. (2013)
	100, 90, 70, 50, 30 e 10% de biossólido. Diferentes misturas com os materiais casca de arroz carbonizada, moinha de carvão e casca de pinus	100% de substrato comercial a base de casca de pinus. 100% de substrato comercial a base de turfa.	A altura foi 40% maior no biossólido (100%) em comparação com o substrato comercial a base de casca de pinus e 13% menor em comparação com a formulação a base de turfa.	Dentre os componentes avaliados o biossólido foi o que apresentou menor custo. O crescimento das mudas no biossólido puro (100%) só foi menor que o do substrato comercial a base de turfa.	Kratz et al. (2017)
<i>Eucalyptus grandis</i>	80, 70, 60, 50 e 40% de biossólido. Mistura com casca de arroz carbonizada.	100% de substrato comercial a base de casca de pinus.	Altura 3% menor, diâmetro 13% menor e biomassa 22% menor em substrato com 50% de biossólido e 50% de casca de arroz carbonizada. Resultados piores para misturas com maiores e menores proporções de biossólidos.	O substrato comercial a base de casca de pinus apresentou melhores resultados, os quais foram semelhantes aos tratamentos com 50/50 e 40/60% de biossólido e casca de arroz carbonizada. Proporções maiores ou iguais a 70% de biossólido foram prejudiciais ao crescimento das mudas.	Trigueiro e Guerrini (2003)
	100, 80, 60, 40 e 20% de biossólido. Mistura com vermiculita.	100% de substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita.	Crescimento 3,7 vezes maior para altura, 2,2 vezes maior para o diâmetro e 21,5 vezes maior para a biomassa no tratamento com 80% de biossólido e 20% de vermiculita.	O substrato comercial apresentou os piores resultados, seguido dos substratos com maiores proporções de biossólido. Os melhores resultados ocorreram para as proporções mais baixas de biossólido, sendo recomendada a aplicação de no máximo 60% do material em conjunto com vermiculita.	Caldeira et al. (2013a)
	100, 80, 60, 40 e 20% de biossólido. Mistura com fibra de coco ou palha de café <i>in natura</i>	100% de substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita.	Crescimento 3,1 vezes maior para altura, 2,4 vezes maior para diâmetro e 16,6 vezes maior para biomassa no tratamento com 80% de biossólido e 20% de palha de café.	Recomendada a utilização de substrato com 80% de biossólido e 20% de palha de café. A mistura do biossólido com palha de café apresentou melhores resultados que o biossólido puro e que sua mistura com fibra de coco. O substrato comercial apresentou os piores resultados.	Caldeira et al. (2014b)
<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	100, 80, 60, 40 e 20% de biossólido (composto de lodo com restos de poda 1:1). Mistura com casca de arroz	100% de substrato comercial composto por turfa de esfagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK.	Crescimento 2,5 vezes maior para altura, 1,65 vezes maior para o diâmetro e 8 vezes maior para a biomassa no tratamento com 60% de biossólido e 40% de casca de	Recomendada a utilização de biossólido em percentual que não ultrapasse 60%. O desenvolvimento das mudas foi adequado sem aplicação de fertilização suplementar. Crescimento máximo ocorreu nas proporções entre 67 e 73% de biossólido.	Rocha et al. (2013)

	carbonizada.		arroz carbonizada.	Substrato comercial (sem fertilização) apresentou os piores resultados.	
	8,3, 16,7, 25 e 33% de biossólido. Diferentes misturas com cama de frango, esterco bovino, palha de café, serragem, casca de pinus, moinha de carvão e vermiculita.	100% de substrato comercial composto por casca de pinus, vermiculita, corretor de acidez, ureia, sulfato de amônio, superfosfato e nitrato de potássio.	Biomassa 35% menor em substrato com substrato com 25% de biossólido, 33,4% de cama de frango, 16,7% de palha de café, 8,3% de esterco bovino, 8,3 de moinha de carvão e 8,3% de vermiculita.	Melhores resultados para substrato comercial com fertilização mineral. O substrato com maiores proporções de biossólido apresentou os piores resultados. O substrato orgânico que teve melhor desempenho continha 25% de biossólido.	Higashikawa et al. (2016)
	50, 33 e 25% de biossólido, misturado a 50, 67 e 75% de casca de pupunha e posterior compostagem.	100% de substrato comercial composto por casca de pinus, vermiculita e fertilizante granulado.	16% maior para altura, 7% maior para diâmetro e 30% maior para biomassa em substrato com 25% de biossólido, 75% de casca de pupunha e de 6 g dm <sup>-3</sup> de NPK 15-09-12	Melhores resultados em fertilização de 4 e 6 g dm <sup>-3</sup> de NPK 15-09-12. Resultados semelhante entre substratos com diferentes proporções de biossólido, independente da fertilização.	Silva et al. (2018)

Situação inversa ocorreu no trabalho de Abreu et al. (2017a). Os autores também utilizaram como tratamento controle um substrato comercial a base de casca de pinheiro e nesse caso os maiores crescimentos foram observados em substratos com 50 e 100% de bio sólido. Diferente de Trigueiro e Guerrini (2014), Abreu et al. (2017a) não realizaram fertilização nem de base, nem de cobertura. Uma possível explicação para esses resultados seria que, ao realizar a fertilização igual para todos os tratamentos, o substrato com melhores características físicas foi favorecido. Já quando não é realizada fertilização, o substrato favorecido seria aquele com melhores características químicas. O resultado contrastante de tais trabalhos também poderia ser atribuído a possíveis diferenças nos tratamentos aos quais foram submetidos cada um dos bio sólidos avaliados. Dessa forma, se justifica a realização de novas pesquisas que estudem características físicas e químicas em conjunto com fertilização de substratos comerciais em comparação com substratos com bio sólido em sua composição.

A proporção de bio sólido nos substratos, recomendada para produção de mudas de *Schinus terebinthifolia*, variou entre 30 a 100%, sendo que na maior parte dos trabalhos ela esteve entre 40 e 60% de bio sólido no substrato. Segundo Ribeiro et al. (2009), geralmente a resposta de crescimento de mudas arbóreas em relação a proporções crescentes de bio sólido é quadrática. Tal fato foi observado para *Schinus terebinthifolia* nos artigos de Nóbrega et al. (2007) e Trigueiro e Guerrini (2014). Nos trabalhos realizados por Abreu et al. (2017a) e Cabreira et al. (2017b) foi viável a produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* em substratos compostos por 100% de bio sólido, sugerindo que as características de cada material influenciam nos resultados.

Na Tabela 6 também são apresentados maiores detalhes de artigos que avaliaram espécies e híbrido do gênero *Eucalyptus*, considerando que esse foi o gênero de maior ocorrência nas pesquisas (Figura 2). Em geral, observa-se que os substratos comerciais, quando devidamente fertilizados, apresentam melhores resultados que substratos contendo bio sólidos. Embora a produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* em substrato com 100% de bio sólido tenha sido viável para Kratz et al. (2017), as recomendações para as espécies do gênero chegam no máximo a 60% de bio sólido no substrato. Os resultados inferiores de substratos com maiores proporções de bio sólido são atribuídos a características físicas menos adequadas dos mesmos (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; ROCHA et al., 2013).

Comparando os resultados obtidos por autores para a espécie nativa *Schinus terebinthifolia* e as espécies do gênero *Eucalyptus*, pode-se constatar que não existe um consenso sobre os efeitos de bio sólidos nos substratos e no crescimento das mudas. Além das características de cada espécie e das diferentes técnicas empregadas na produção de mudas, os bio sólidos de diferentes procedências são extremamente variáveis, sendo necessário conhecer e avaliar cada lote do material antes de tomar decisões em relação a sua aplicação em substratos. Dependendo das características do bio sólido, o mesmo pode ser utilizado puro, como o lote seco em leitos a pleno sol utilizado por Cabreira et al. (2017b) para *Schinus terebinthifolia*. Por outro lado, pode ser inviável a aplicação de determinado lote de bio sólido como substrato, como o material seco termicamente utilizado por Bonnet et al. (2002) para produção de mudas da mesma espécie (*Schinus terebinthifolia*).

Apenas dois trabalhos realizaram plantio e acompanhamento das mudas em campo. A implantação, condução e avaliação, embora pouco realizada pelos trabalhos na área de mudas florestais, é importante para poder inferir sobre a qualidade das mudas produzidas em diferentes tratamentos, com base no desempenho delas após o plantio, que é a grande finalidade da produção de mudas.

### **2.3.9. Aspectos ambientais**

Outra exigência da resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006) é que o bio sólido deve ser avaliado quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos. Apenas 12 (19%) dos artigos apresentaram dados de análises microbiológicas, sendo que somente três trabalhos avaliaram a presença de todos os patógenos exigidos na CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006). Sete trabalhos avaliaram outros microrganismos ou apenas parte dos exigidos na resolução. Dos outros dois trabalhos, um avaliou a associação das plantas com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium* sp.) e outro a associação com fungos micorrízicos em substratos com bio sólido.

Os dados levantados e apresentados comprovam a necessidade de mais atenção para os parâmetros microbiológicos dos bio sólidos utilizados na produção de mudas, considerando principalmente o risco a que são submetidos os trabalhadores que manuseiam o material no viveiro. O número reduzido de análises é provavelmente devido ao preço relativamente elevado para executá-las, além disso poucos laboratórios realizam tais análises na metodologia proposta pela resolução do CONAMA (BRASIL, 2006). A associação das mudas com bactérias fixadoras de nitrogênio e ou fungos micorrízicos, em substratos com bio sólido na composição, também é pouco estudada, demandando pesquisas.

Foram observados em apenas três artigos estudos dos teores de elementos lixiviados em substratos contendo bio sólido. A avaliação de tal parâmetro é importante, considerando a possibilidade de inferir sobre a contaminação por meio de lixiviação de metais pesados. Guerrero et al. (2002) observaram maior lixiviação de Ca, bem como de Cd, Cr, Cu, Zn, Pb e Ni em substrato com bio sólido, enquanto o substrato com casca de pinus e fertilização apresentou maior lixiviação de K e P. Zapata et al. (2005) observaram que o conteúdo de metais lixiviados durante condução do experimento foi reduzido, concentrando-se nas três primeiras irrigações. As variações entre tratamentos com e sem a aplicação de bio sólido foram baixas para pH e CE nos trabalhos de Zapata et al. (2005) e Hernandez-Apaolaza e Guerrero (2008), sugerindo que a lixiviação foi semelhante entre os tratamentos, independente da presença de bio sólido no substrato. Considerando a pouca quantidade de trabalhos sobre o tema, é necessário a realização de novas pesquisas que venham a embasar e detalhar os resultados daquelas citadas acima.

Para minimizar a lixiviação de N e metais pesados do substrato, Hernández-Apaolaza e Guerrero (2008) recomendam aplicação de casca de pinheiro em detrimento da fibra de coco, tendo em vista que foram observados menores valores de nitrato, Zn, Cd e Pb lixiviado em substratos onde o bio sólido foi misturado a casca de pinheiro.

Hernández-Apaolaza et al. (2005) não constataram concentração significativa de metais pesados no tecido de mudas cultivadas com aplicação de bio sólido no substrato. Os autores mencionam que a preocupação com metais pesados no lodo pode ser menor no cultivo de mudas em recipientes, já que elas não são usadas para alimentação e as doses de lodo aplicadas são reduzidas em comparação com culturas agrícolas que necessitam de aplicações maiores e periódicas.

A aplicação de bio sólidos em substrato para produção de mudas florestais é preferível em relação a componentes que podem gerar impactos para sua extração, como no caso de solo e turfa de esfagno. Além disso, o reaproveitamento de bio sólido no substrato consiste em alternativa preferível, por exemplo, a disposição desse material em aterro sanitário. São demandados estudos que avaliem esses aspectos que são pouco abordados.

### **2.3.10. Custos do uso de bio sólido em relação a outros componentes e substratos**

Questões relacionadas aos custos de produção foram abordadas em apenas 5 artigos. De modo geral, a utilização de bio sólido no substrato representa redução no custo de produção das mudas, devido este material normalmente ser descartado em aterros sanitários



pelas companhias de saneamento, sendo mais baratos que componentes normalmente utilizados em substratos (BUGBEE, 2002; RIBEIRO et al., 2009). Também devido à redução ou eliminação da necessidade de fertilização química (RIBEIRO et al., 2009; DEDE et al., 2010). Trigueiro e Guerrini (2003) observaram redução de 64% na necessidade de fertilização em substratos compostos de 50/50 e 60/40% de biossólido e casca de arroz em relação a fertilização utilizada para o substrato comercial. Ribeiro et al. (2009) mencionam que a utilização de substrato com 50/50% de composto de lodo com serragem (1:3) e turfa, além de baratear o substrato em si, substituindo a turfa por material mais barato, reduz a necessidade de fertilização mineral com macronutrientes pela metade e dispensa fertilização com micronutrientes. Os resultados indicam a necessidade de que novos estudos com biossólido na produção de mudas arbóreas quantifiquem a economia resultante da redução de custos com fertilizantes e componentes de substrato.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos trabalhos avaliados pode-se afirmar que, caso o material apresente características físicas, químicas e biológicas adequadas, é tecnicamente viável a utilização de biossólido como substrato para produção de mudas de espécies florestais. O biossólido pode ser aplicado na proporção de 30 a 60% do substrato, podendo ser utilizado como único componente (100%), dependendo das características do lote do material e da espécie que se deseja produzir.

A maior parte dos artigos abordando o uso de biossólido para produção de mudas florestais estudaram os efeitos nas características físicas e químicas dos substratos, no crescimento das mudas, bem como as melhores proporções e misturas com outros materiais para formulação de substratos.

A utilização de biossólido pode reduzir custos com insumos nos viveiros, como substratos comerciais e fertilizantes químicos, além de permitir uma destinação mais sustentável para esse material, em comparação com o descarte em aterros sanitários. Existem lacunas no conhecimento da área que demandam a realização de novos estudos. Alguns dos principais temas que são pouco explorados e demandam mais estudos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Principais lacunas identificadas, a importância de cada uma delas e sugestões de pesquisas para artigos abordando a utilização de resíduos sólidos de tratamento de esgoto como substrato na produção de mudas florestais

<b>Lacunas</b>	<b>Importância</b>	<b>Sugestões</b>
Descrição dos processos de tratamento de esgoto e lodo que originaram o biossólido utilizado como substrato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biossólidos de diferentes ETEs podem apresentar variações das características físicas, químicas e biológicas</li> <li>- A descrição pode auxiliar na explicação dos resultados observados no experimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever o nível e os métodos do tratamento de esgoto que gerou o material.</li> <li>- Quanto ao tratamento do lodo, descrever quais etapas foram realizadas e a metodologia utilizada em cada uma</li> </ul>
Avaliação de biossólidos gerados em diferentes ETEs e a partir de variados métodos de tratamento de esgoto e lodo como substrato para produção de mudas florestais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os métodos aplicados no tratamento de esgoto e lodo podem gerar biossólidos com variadas características físicas, químicas e biológicas</li> <li>- Identificar quais os tratamentos de esgoto e principalmente lodo originam biossólidos mais adequados para utilização como substrato para mudas florestais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar a caracterização física, química e biológica de biossólidos produzidos a partir de diferentes métodos de tratamento de esgoto e lodo</li> <li>- Avaliar e comparar os resultados da incorporação de diferentes biossólidos ao substrato para a produção de mudas de espécies florestais</li> </ul>
Análise químicas dos tecidos vegetais de mudas florestais produzidas em substratos contendo biossólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O estado nutricional das mudas é um importante parâmetro de qualidade</li> <li>- Pode indicar toxidez ou acúmulo excessivo de algum elemento químico nos tecidos das plantas</li> <li>- Auxiliar na determinação da necessidade de fertilização de mudas produzidas com biossólido no substrato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Após os experimentos de produção de muda, selecionar alguns indivíduos para analisar a concentração e acúmulo de macronutrientes e, se possível, micronutrientes e metais pesados nos tecidos das mudas</li> </ul>
Necessidade de fertilização em substratos formulados com biossólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como são ricos em macro e micronutrientes, a utilização de biossólidos no substrato pode reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de fertilização durante a produção de mudas</li> <li>- Pode gerar economia, diminuindo custos com a aquisição e aplicação de fertilizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar substratos padrão (comerciais ou não) em comparação ao substrato com biossólido, ambos com e sem fertilização</li> <li>- Estudar as características físicas e químicas em conjunto com a fertilização em substratos padrão e biossólido</li> </ul>
Impacto do biossólido na germinação de sementes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O biossólido pode ter efeito inibitório à germinação de sementes</li> <li>- Identificar se o biossólido afeta ou não a germinação de sementes de espécies florestais, principalmente as nativas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testar a germinação de diferentes espécies florestais em um ou mais tipos de biossólidos e com os dados da caracterização química e física dos biossólidos utilizados, justificar os resultados verificados</li> </ul>
Plantio e acompanhamento em campo das mudas produzidas nos experimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Importante para aferir sobre a qualidade das mudas produzidas</li> <li>- Garantir que os resultados observados em viveiro foram confirmados pelo desempenho das mudas após o plantio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantio em campo de parte ou todas as mudas produzidas em viveiro, mensurando o crescimento e sobrevivência das mudas dos diferentes tratamentos após o plantio</li> </ul>
Parâmetros biológicos dos biossólidos utilizados na produção de mudas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os biossólidos podem conter microrganismos patogênicos danosos ao meio ambiente, ao ser humano e outros seres vivos</li> <li>- O monitoramento desses parâmetros pode indicar tratamentos complementares para higienização do biossólido antes de sua utilização, evitando a contaminação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes da realização de qualquer experimento, fazer a avaliação dos parâmetros microbiológicos previstos na resolução nº375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006)</li> </ul>
Associação das mudas com bactérias fixadoras de nitrogênio e ou fungos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As associações com bactérias fixadoras e micorrizas podem favorecer o crescimento das mudas em viveiro e principalmente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar a efetividade da inoculação com bactérias fixadoras e ou fungos micorrízicos em substratos padrão e nos</li> </ul>

micorrízicos em substratos contendo bio sólido	<p>seu estabelecimento e crescimento em campo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A associação das plantas com bactérias fixadoras e fungos micorrízicos pode variar de acordo com as características físicas e químicas do substrato</li> </ul>	<p>formulados com bio sólidos</p>
Lixiviação de metais pesados, nitrogênio e outros elementos durante a produção de mudas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerando as características químicas do bio sólidos e que a produção de mudas florestais é feita com irrigação abundante, pode ocorrer lixiviação de poluentes químicos</li> <li>- Evitar a possibilidade de contaminação da água e trabalhadores do viveiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar análises químicas da água excedente de chuvas e ou de irrigações, escoada pelo fundo dos recipientes durante o processo de produção de mudas florestais em substratos formulados com bio sólidos</li> </ul>
Aspectos financeiros relacionados ao uso de bio sólidos como substrato para produção de mudas florestais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O uso de bio sólido no substrato pode promover economia na aquisição e aplicação de fertilizantes químicos, bem como de substratos ou componentes para formulação deles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar o valor economizado com a redução ou eliminação da aplicação e aquisição de fertilizantes químicos</li> <li>- Avaliar o valor economizado na aquisição de substrato ou componentes para sua formulação</li> <li>- Avaliar custos de transporte do bio sólido até o viveiro, bem como eventuais custos com tratamentos complementares para adequar o bio sólido ao uso como substrato</li> <li>- Comparar os custos da disposição padrão do bio sólido com aqueles relacionados ao seu uso como substrato</li> </ul>

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.27, n.4, p.1179-1190, 2017a.
- ABREU, A. H. M.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S.; ALONSO, J. M. Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.21, n.2, p.83-87, 2017b.
- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n. 4, p. 2433-2448, 2017c.
- ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; CABREIRA, G. V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. **Cerne**, Lavras, v.24, n.4, p.420-429, 2018.
- ALMEIDA, R. A.; ALMEIDA, N. A. M. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. **Revista eletrônica de enfermagem**, Goiânia, v.7, n.3, p.306-317, 2005.
- ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. 1999. 87f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1999.
- ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.
- BARELLA, K. M. **Pesquisa de vírus entéricos humanos em lodos de esgoto originários de duas ETEs do estado de São Paulo: estabelecimento de metodologia para recuperação e detecção viral**. 2008. 59 p. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BASIL, G.; MAZZARINO, M. J.; ROSELLI, L.; LETOURNEAU, F. Efecto del compost de biossólidos em la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (Ciprés de la cordillera). **Ci. Suelo**, v.27, n.1, p.49-55.
- BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. 197p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349p.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010, 407 p.

BIELSCHOWSKY, M. C. **Modelo de Gerenciamento de Lodo de Estação de Tratamento de Esgotos: Aplicação do Caso da Bacia da Baía de Guanabara**. 2014. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M.; AZEVEDO, J. C. R. Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p.43-53, 2016.

BONNET, B. R. P.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B.; NOGUEIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; BARBIERI, S. J. Effects of substrates composed of biosolids on the production of *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* and *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Water Science and Technology**, v.46, n.10, p.239-246, 2002.

BORTOLINI, J.; TESSARO, D.; GONÇALVES, M. S.; ORO, S. R. Lodo de esgoto e cama de aviário como componente de substrato para produção de mudas de *Cedrela fissilis* e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. **Revista Scientia Agraria**. Curitiba, v.18, n.4, p.121-128, 2017.

BRASIL – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF (2006 ago. 30); n.167:141-146.

BUGBEE, J. G. Growth of ornamental plants in container media amended with biosolids compost. **Compost Science & Utilization**, v.10, n.2, p.92-98, 2002.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**. Curitiba, v.47, n.2, p.165-176, 2017a.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ARAÚJO, E. J. G.; SILVA, E. V.; LISBOA, A. C.; LOPES, L. N. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando biossólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. **Revista Scientia Agraria**. Curitiba, v.18, n.2, p.30-42, 2017b.

CAI, H.; CHEN, T.; LIU, H.; GAO, D.; ZHENG, G.; ZHANG, J. The effect of salinity and porosity of sewage sludge compost on the growth of vegetable seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 381-386, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**. Curitiba, v.42, n.1, p.77-84, 2012a.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**. Viçosa, v.36, n.6, p.1009-1017, 2012b.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI PA. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.40, n.93, p.015-022, 2012c.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v.43, n.2, p.155-163, 2013a.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**. Viçosa, v.37, n.1, p.31-39, 2013b.

CALDEIRA, M. V. W.; FAVALESSA, M.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SANTOS, F. E. V.; VIEIRA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus, v.5, n.1, p.34-43, 2014a.

CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. **Floresta**. Curitiba, v.44, n.2, p.195-206, 2014b.

CALDEIRA, M. V. W.; FAVALESSA, M.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES E. O.; MOURA, R. R. S. Sewage Sludge assessment on growth of *Acacia mangium* seedlings by principal components analysis and orthogonal contrasts. **Journal of Plant Nutrition**. Londres, v.41, n.10, p.1303-1311, 2018.

CARAMELO, A. D.; MOREIRA, W. M. Q.; CAMPOS, A. P.; GALBIATTI, J. A. Uso de biossólido urbano no desenvolvimento inicial de plântulas de *Croton urucurana* sob lâminas de irrigação. **Science and Technology Innovation in Agronomy**. Bebedouro, v.1, n.1, p.22-36, 2017.

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

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 10, n. 3, p. 413 - 419, 2015.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

CUNHA, A.M.; CUNHA, G.M.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, G.M.; AMARAL, J.F.T.; Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p. 207-214, 2006.

DEDE, O. H.; DEDE, G.; OZDEMIR, S. Agricultural and municipal wastes as container media component for ornamental nurseries. **International Journal of Environmental Research**, Teerã, v.4, n.2, p.193-200, 2010.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@ambiente**. Monte Cristo, v.7, n.2, p.184-192, 2013.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.21, n.2, p.224-233, 2014.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O. Uso de resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Mimosa setosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.33, n.76, p.409-418, 2013a.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LACERDA, L. C.; GONÇALVES, E. O. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus, v.4, n.4, p.342-351, 2013b.

FARIA, J. C. T.; MELO, L. A.; BRONDANI, G. E.; DELARMELINA, W. M.; SILVA, D. S. N.; NIERI, E. M. Substrates formulated with organic residues in the production of seedlings of *Moquiniastrum polymorphum*. **Floresta**. Curitiba, v.47, n.4, p.523-532, 2017.

FAUSTINO, R.; KATO, M.T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato na produção de *Senna siamea*. Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.278-282, 2005.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; IHLENFELD, R. G. K. **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: PROSAB, 1999.

FERREIRA, F. D.; CORAIOLA, M. Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambiente**, Curitiba, v.6, n.2, p.259-279, 2008.

FIGUEIREDO, I. C. **Avaliação de desempenho do processo CEPT (chemically enhanced primary treatment) no tratamento primário de esgotos domésticos**. 2009. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GIBSON, T. S.; CHAN, K. Y.; SHARMA, G. SHEARMAN, R. **Soil carbon sequestration utilising recycled organics**. Sydney: NSW Agriculture, 2002. 95p.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-Line**. Guaratinguetá, v.2, n.1, p.79-90, 2013.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**. Lavras, v.19, n.1, p.123-131, 2013.

GÓMEZ, F. O. H.; VEGA, N. W. O.; PELAEZ, J. D. L. Biological inoculation and organic amendments as strategies to improve ebony (*Caesalpinia ebano*) tree-seedling growth at the nursery. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**. Medellín, v.71, n.2, p.8489-8497, 2018.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 116 p.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; SPERLING, M. V. Remoção da umidade de lodos de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444p.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plants attributes. **New Forests**, Dordrecht, v.43, n.1, p.711-738, 2012.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plants attributes. **New Forests**, Dordrecht, v.49, n.1, p.1-34, 2018.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUERRERO, F.; GASCÓ, J. M.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, n.1, p.129-141, 2002.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; GASCÓ, A. M.; GASCÓ, J. M.; GUERRERO, F. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.96, n.1, p.125-131, 2005.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; GUERRERO, F. Comparison between pine bark and coconut husk sorption capacity of metals and nitrate when mixed with sewage sludge. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 1544-1548, 2008.

HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; NUNES, C. A.; BETTIOL, W.; GUERREIRO M. C. Physico-chemical evaluation of organic wastes compost-based substrates for eucalyptus



seedlings growth. **Communications in soil science and plant analysis**, v.47, n.5, p.581-592, 2016.

INGELMO, F.; CANET, R.; IBÁÑEZ, M. A.; POMARES, F.; GARCIA, J. Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. **Bioresource Technology**. Amsterdam, v.63, n.1, p.123-129, 1998.

KRATKA, P. C.; CORREIA, C. R. M. A. Crescimento inicial de aoreira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em diferentes substratos. **Revista Árvore**. Viçosa, v.39, n.3, p.551-559, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**. Viçosa, v.37, n.6, p.1103-1113, 2013a.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Utilização de resíduos urbanos e agroflorestais para a produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Mimosa scabrella*. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.20, n.4, p.530-537, 2013b.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; SOUZA, P. V. Substratos renováveis para produção de mudas de *Mimosa scabrella*. **Floresta**. Curitiba, v.45, n.2, p.393-408, 2015.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; MELLEK, J. E. Physic-chemical properties and substrate formulation for *Eucalyptus* seedlings production. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.45, n.113, p.63-76, 2017.

LÓPEZ, R.; CABRERA, F.; MADEJÓN, E.; SANCHO, F.; ÁLVAREZ, J. M. Urban composts as an alternative for peat in forestry nursery growing media. **Global Science Books: Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v.2, n.1, p.60-66, 2008.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

MAÑAS, P.; CASTRO, E.; VILA, P.; HERAS, J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. **New Forest**, v.37, n.1, p.295-311, 2009.

MAÑAS, P.; CASTRO, E.; VILA, P.; HERAS, J. Use of waste materials as nursery growing media for *Pinus halepensis* production. **European Journal of Forest Research**, v.129, n.4, p.521-530, 2010.

MARQUES, A. R. F.; COSTA, A. L.; TRAVESSAS, A. O.; BOLIGON, A. A.; VESTENA, S. Utilização de substratos orgânicos na produção de mudas de *Eugenia uniflora* L. **Caderno de Pesquisa**. São Paulo, v.30, n.1, p.09-20, 2018a.

MARQUES, A. R. F.; OLIVEIRA, V. S.; BOLIGON, A. A.; VESTENA, S. Produção e qualidade de mudas de *Psidium cattleianum* var. *cattleianum* Sabine (Myrtaceae) em diferentes substratos. **Acta Biológica Catarinense**. Joinville, v.5, n.1, p.05-13, 2018b.

MARTINS, C. C.; SILVA, J. D. R.; PEREIRA, M. R. R.; OLIVEIRA, S. S. C. Efeito do sombreamento e do substrato sobre a germinação e o crescimento de plântulas de *Acacia magium* e *Acacia mearnsii*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.22, n.2, p.283-293, 2012.

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

NÓBREGA, R.S.A.; VILAS BOAS, R.C.; NÓBREGA, J.C.A; PAULA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.239-246, 2007.

OSTOS, J. C.; LÓPEZ-GARRIDO, R.; MURILLO, J. M.; LÓPEZ, R. Substitution of peat for municipal solid waste and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. **Bioresource Technology**, v.99, n.6, p.1793-1800, 2008.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólidos em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

RIBEIRO, H. M.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F. Fertilization of *Pinus pinea* L. seedlings with a sewage sludge-based compost. **Waste Management & Research**, v.27, n.1, p.112-118, 2009.

ROBERTS, B. R.; DECKER, H. F.; BAGSTAD, K. J.; PETERSON, K. A. Biosolid residues as soilless media for growing wildflower sod. **HortTechnology**. Alexandria, v.11, n.2, p.194-199, 2011.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.33, n.73, p.27-36, 2013.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.18, n.9, p.971-979, 2014.

SCHLINDWEIN, A. D. **Pesquisa de vírus entéricos humanos em amostras de lodo da estação de tratamento de esgoto (sistema insular) de Florianópolis, SC: padronização e avaliação de técnicas moleculares e de cultura celular na detecção e viabilidade viral**. 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos a base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.38, n.88, p.637-644, 2010.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**. Lavras, v.18, n.4, p.613-621, 2012a.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.19, n.1, p.55-65, 2012b.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Crescimento de mudas de *Prunus brasiliensis* (Cham. & Schltdl.) D. Dietr. em substratos à base de lodo de esgoto compostado e fertilizante mineral. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.22, n.4, p.739-747, 2012c.

SILVA, F. A. M.; SOUZA, I. V.; ZANON, J. A.; NUNES, G. M.; SILVA, R. B.; FERRARI, S. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. Tupã, v.9, n.2, p.109-121, 2015.

SILVA, F. A. M.; NUNES, G. M.; ZANON, J. A.; GUERRINI, I. A.; SILVA, R. B. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.28, n.2, p.827-835, 2018.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**. Curitiba, v.48, n.2, p.277-284, 2018.

TELES, C. R.; COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. Produção de lodo em lagoas de estabilização e o seu uso no cultivo de espécies florestais na região sudoeste do Brasil. **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**. Curitiba, v.12, n.12, p.01-06, 1999.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLETOMBI, R. Avaliação de mudas de *Tecoma stans* utilizando biossólido e resíduo orgânico. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v.85, n.1, p.218-226, 2010.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**. Curitiba, v.42, n.3, p.621-630, 2012.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F.; SILVA, A. G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**. Lavras, v.20, n.2, p.293-302, 2014.

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, L.A. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.64, p.150-162, 2003.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**. Viçosa, v.38, n.4, p.657-665, 2014.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, 468 p.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, M. M. A. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. **Eclética Química**, Botucatu, v.22, n.1, p.49-66, 1997.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016, 461 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017, 470 p.

ZAPATA, N.; GUERRERO, F.; POLO, A. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de substratos de cultivo. **Agricultura Técnica**, v.65, n.4, p.378-387, 2005.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E VALORAÇÃO DE BIODÓLIDOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO RIO DE JANEIRO**

## RESUMO

Dentre os maiores desafios ambientais enfrentados por grandes centros urbanos é possível citar o manejo dos resíduos sólidos. Um deles é o bio sólido, termo utilizado para designar o resíduo do tratamento de esgoto após estabilização e higienização visando seu reaproveitamento em atividade produtiva. Em sua composição o bio sólido possui elevados teores de nutrientes e matéria orgânica, podendo substituir parcialmente o uso de fertilizantes, implicando em economia quando utilizado em atividades agrícolas. O trabalho teve como objetivo avaliar o teor de nutrientes e metais pesados e a valoração de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto (ETEs) localizadas no estado do Rio de Janeiro. Foram analisadas amostras de 18 lotes de bio sólidos, oriundos das ETEs Alegria, Barra da Tijuca, Ilha do Governador, Pavuna e Sarapuí, todas localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro. Essas ETEs recebem e tratam apenas esgotos de origem doméstica, se diferenciando conforme os métodos e processos de tratamento de esgoto e lodo. Foram avaliados os teores totais de C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Na, Co, Mn, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Pb e Zn, bem como a relação C/N, pH, teor de matéria orgânica e condutividade elétrica. A valoração econômica do bio sólido foi feita por meio do método de mercado de bens substitutos, que utiliza como comparação preços de produtos cujos mercados já estão consolidados. Todos os lotes de bio sólido avaliados apresentaram concentrações de metais pesados abaixo das permitidas pela legislação, altos teores de nutrientes e matéria orgânica, sendo favorável sua utilização como adubo ou substrato. Um substrato comercial a base de bio sólido poderia ser comercializado no varejo a partir de R\$ 900,00 a megagrama, considerando o preço praticado no mercado localmente. Considerando que o bio sólido possua características físicas, químicas e biológicas adequadas, sua utilização na fertilização de culturas agrícolas ou composição de substratos para produção de mudas pode ser estimulada, tendo em vista que ele pode fornecer nutrientes e matéria orgânica, bem como promover considerável economia na produção.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos, lodo de esgoto, substrato, adubo

## ABSTRACT

Among the main environmental problems experienced in big urban areas is the management of solid wastes. One of them, Biosolids, is the solid waste of sewage treatment after stabilization and sanitation for reutilization in productive activities. Biosolids have high contents of nutrients and organic matter in its composition, being able to partially replace the use of fertilizers, resulting in cost savings when applied in agricultural activities. The objective of this experiment was to evaluate the nutrients and heavy metal contents and the valuation of biosolids generated in wastewater treatment plants (WWTP) located in Rio de Janeiro state. There were evaluated samples of 18 batches of biosolids, from the WWTP of Alegria, Barra da Tijuca, Ilha do Governador, Pavuna and Sarapu , all of them located in the metropolitan region of Rio de Janeiro state. These WWTP receive and treat only sewage from domestic origin, they differ from each other in the methods and processes for treatment of sewage and sludge. It was evaluated the total contents of C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Na, Co, Mn, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Pb e Zn, as well as the C/N ratio, pH, organic matter content and electrical conductivity of each biosolid sample. The economical valuation of biosolids was made with the method of substitute goods market, which considers for comparison the prices of products whose markets are consolidated. All the batches of biosolids showed heavy metal contents lower than the values allowed by Brazilian legislation. Biosolids also had high concentration of nutrients and organic matter, which favors their use as compost or substrate. A commercial substrate based on biosolids could be sold in retail with starting prices of R\$ 800,00 for the megagram, considering the local prices for similar products. If biosolids present adequate physical, chemical and biological characteristics, their reutilization for agricultural fertilization or in the composition of substrates for seedlings production can be encouraged, considering that it can provide nutrients and organic matter, as well as promote reduction of production costs.

**Keywords:** solid wastes, sewage sludge, substrate, compost

## **1. INTRODUÇÃO**

A coleta e o tratamento de esgotos são fundamentais para preservação do meio ambiente e da saúde pública. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para o ano de 2016, apenas 44,9% do esgoto gerado no Brasil recebeu tratamento. Por outro lado, a coleta e tratamento de esgoto têm aumentado no país, já que o volume tratado em 2016, de 4,06 bilhões de m<sup>3</sup>, apresentou incremento de 6,6% em relação ao de 2015, que foi de 3,81 bilhões de m<sup>3</sup> (BRASIL, 2018).

Considerando que o tratamento de esgoto produz um resíduo sólido, chamado de lodo de esgoto, o aumento no volume tratado agrava outro problema ambiental, que é a disposição desse resíduo. No Brasil o lodo de esgoto é, geralmente, descartado em aterros sanitários, o que além de oneroso colabora com a sobrecarga dos aterros em áreas urbanas (ABREU et al., 2017a). Rico em nutrientes e matéria orgânica, o lodo de esgoto, após tratado e estabilizado visando seu reaproveitamento, passa a ser denominado bioestabilizado, podendo ser aplicado, dentre outras atividades, em solos agrícolas ou como substrato para produção de mudas (BERTON e NOGUEIRA, 2010; ABREU et al., 2017b).

O uso agrícola do bioestabilizado no Brasil deve obedecer ao disposto na Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Considerando que este material pode conter contaminantes, são necessárias análises que confirmem a ausência de riscos ao ambiente e a saúde humana. Além disso, a composição química dos bioestabilizados pode variar muito entre diferentes Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), o que ocorre devido a origem do efluente de cada ETE, as técnicas de tratamento de esgoto e lodo empregadas, entre outros fatores (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Segundo Carvalho et al. (2015), o tratamento do lodo por compostagem proporciona maior estabilização da matéria orgânica, indicando o uso como condicionador de solo, enquanto a secagem térmica preserva melhor os nutrientes sendo o material indicado para uso como fertilizante orgânico, esses fatores reforçam a necessidade de análise química de lotes de bioestabilizados de diferentes ETEs.

O trabalho teve como objetivo avaliar o teor de nutrientes e metais pesados de bioestabilizados gerados em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) localizadas na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, bem como realizar a valoração de tais materiais considerando sua aplicação como adubo, composto orgânico ou substrato para produção de mudas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Descrição das Estações de Tratamento de Esgoto avaliadas**

Foram avaliados bioestabilizados gerados a partir de lodos de cinco Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), todas localizadas na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro e administradas pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE). A localização e descrição resumida de cada uma das ETEs avaliadas é apresentada abaixo.

#### **2.1.1. ETE Alegria**

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Alegria está localizada na Rua Projetada IV, fundos com a Rua Carlos Seidi, nº 950, no bairro do Caju, Zona Portuária da cidade do Rio de Janeiro – RJ, tendo como coordenadas 22°52'17"S e 43°13'45"W. Recebe esgoto de parte dos bairros da Zona Norte, que é uma área principalmente residencial, e do Centro da



cidade do Rio de Janeiro, um bairro principalmente comercial. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 5.000 litros por segundo.

A ETE Alegria realiza tratamento de esgoto a nível secundário. Nos tratamentos preliminar e primário o efluente é submetido ao gradeamento, seguido de desarenação e decantação. O tratamento secundário é realizado pelo sistema de lodos ativados, onde o efluente passa por tanque de aeração e depois por decantador. O lodo de esgoto é gerado nos decantadores de ambas as fases do tratamento. O lodo proveniente do processo de tratamento primário é adensado por gravidade, enquanto o do tratamento secundário é adensado por meio de centrífuga. Depois do adensamento, o lodo de ambos os tratamentos é misturado e levado para estabilização da matéria orgânica em digestor anaeróbio, após esse processo o material passa por centrífuga para desidratação. O teor de umidade final do material fica em torno de 60%.

### **2.1.2. ETE Barra da Tijuca**

A Estação de Tratamento de Esgoto da Barra da Tijuca se localiza na Avenida Ayrton Senna, 1.791, no bairro da Barra da Tijuca, Zona Oeste da cidade de Rio de Janeiro – RJ, tendo como coordenadas 22°59'38"S e 43°21'59"W. Essa ETE recebe esgoto dos bairros de Jacarepaguá, Recreio dos Bandeirantes e Barra da Tijuca, todos residenciais, localizados na Zona Oeste da Cidade do Rio de Janeiro e considerados bairros nobres da cidade. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 3.000 litros por segundo.

O tratamento do esgoto na ETE Barra ocorre a nível primário, sendo realizado o tratamento primário quimicamente assistido (CEPT), no qual o efluente recebe adição de cloreto férrico antes e depois do gradeamento, visando a coagulação do esgoto, e de polímero orgânico após a desarenação, para promover a floculação e aumentar a sedimentação de sólidos no decantador primário. O lodo retirado dos decantadores é adensado em centrífuga e levado a secador térmico para desidratação e higienização, onde permanece de 10 a 20 minutos em temperatura superior a 240°C, saindo com umidade de aproximadamente 10%.

### **2.1.3. ETE Ilha do Governador**

A Estação de Tratamento de Esgoto da Ilha do Governador se localiza na Rua Domingos Mondin, 315, na Ilha do Governador, Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro – RJ, que tem como coordenadas 22°47'44"S e 43°11'15"W. Essa ETE trata todo o esgoto da Ilha do Governador, região prioritariamente residencial da cidade. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 535 litros por segundo.

A ETE Ilha do Governador realiza tratamento de esgoto a nível secundário pelo sistema de lodos ativados, os processos de tratamento preliminar, primário e secundário são os mesmos já descritos para a ETE Alegria. No entanto, nessa estação, o lodo do tratamento primário é misturado ao do tratamento secundário antes do adensamento, que é realizado em centrífuga. Após o adensamento o material é estabilizado em digestor anaeróbio, depois desidratado em centrífuga e disposto em leitos de secagem a pleno sol, onde permanece por pelo menos 90 dias, atingindo umidade abaixo de 20%.

### **2.1.4. ETE Pavuna**

A Estação de Tratamento de Esgoto da Pavuna fica localizada na Rua Bulhões Marcial, s/nº, Bairro Vigário Geral, município do Rio de Janeiro – RJ, tendo como coordenadas 22°48'06"S e 43°18'23"W. O esgoto tratado nessa ETE é proveniente dos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e parte da Zona Norte do Rio

de Janeiro, todos na Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 1.500 litros por segundo.

Nesta ETE o esgoto recebe tratamento primário quimicamente assistido, conforme já descrito para a ETE Barra. O tratamento secundário é realizado pelo sistema de lodos ativados, passando pelos mesmos processos já descritos para a ETE Alegria. O lodo do tratamento secundário é misturado ao do tratamento primário para passagem por centrífuga de desaguamento. A estabilização é realizada em digestor anaeróbio e o material é levado novamente à centrífuga para desidratação, sendo após colocado em secador térmico, no qual permanece de 10 a 20 minutos em temperatura superior a 240°C, saindo com umidade de aproximadamente 10%. No entanto, na única coleta realizada nessa ETE, o material não havia passado por secagem térmica, sendo desidratado apenas em centrífuga e apresentando teor de umidade em torno de 50%.

### 2.1.5. ETE Sarapuú

A Estação de Tratamento de Esgoto de Sarapuú fica localizada na Rua Demóstenes, s/nº, Bairro Jardim Glauca, município de Belford Roxo – RJ, tendo como coordenadas 22°45'21"S e 43°20'42"W. O esgoto tratado nessa ETE é proveniente dos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e Nova Iguaçu, todos da Baixada Fluminense. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 1.500 litros por segundo.

Esta ETE possui estrutura muito semelhante à da Pavuna, onde é realizado tratamento primário quimicamente assistido e tratamento secundário pelo sistema de lodos ativados, conforme os processos mencionados para as ETEs Barra e Alegria, respectivamente. O lodo do tratamento secundário é misturado ao do tratamento primário para passagem por centrífuga de desaguamento. A estabilização é realizada em digestor anaeróbio e o material é levado novamente à centrífuga para desidratação, sendo após colocado em secador térmico para desidratação e higienização, no qual permanece de 10 a 20 minutos em temperatura superior a 240°C, saindo com umidade de aproximadamente 10%.

Com objetivo de facilitar a observação dos principais dados, na Tabela 1 é apresentado um resumo das principais características das ETEs estudadas.

Tabela 1: Localização e de tratamento do esgoto e lodo em estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro

ETE	Município	Bairro	Tratamento de esgoto	Tratamento de lodo
Alegria	Rio de Janeiro	Caju	Primário e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação (centrífuga)
Barra	Rio de Janeiro	Barra da Tijuca	Primário quimicamente assistido	Adensamento e desidratação / higienização (secagem térmica)
Ilha	Rio de Janeiro	Ilha do Governador	Primário e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação (leitos de secagem)
Pavuna	Rio de Janeiro	Pavuna	Primário quimicamente assistido e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação (centrífuga)
Sarapuú	Belford Roxo	Jardim Glauca	Primário quimicamente assistido e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação / higienização (secagem térmica)

## **2.2. Caracterização do biossólido de diferentes procedências**

Para verificar possíveis variações na composição e nas características do biossólido de cada ETE em diferentes épocas, foram realizadas três coletas por ano, sendo pelo menos uma na estação chuvosa e outra na estação seca, dessa forma ao longo de dois anos se somaram seis coletas. A amostragem de cada um dos biossólidos avaliados foi realizada por meio da coleta nas ETEs de 10 amostras simples, com aproximadamente 200 gramas, em diferentes pontos da pilha de material disponível. Tais amostras foram agrupadas de modo a formar uma única amostra composta, a partir da qual foram realizadas as análises.

As coletas foram realizadas em janeiro, maio e agosto de 2016 e fevereiro, julho e outubro de 2017, nas ETEs Ilha do Governador, Alegria, Barra, Sarapuí e Pavuna. Apenas na primeira ETE foram coletados biossólidos nas seis épocas. Por variados motivos, nas demais ETEs nem sempre foi possível coletar amostras do material, sendo que na ETE Alegria foram 5 coletas, Barra e Sarapuí 3 e Pavuna apenas 1 coleta.

A caracterização química dos biossólidos foi realizada a partir dos parâmetros exigidos pela Resolução nº 375, de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio ambiente (BRASIL, 2006), sendo eles: potencial agrônômico; presença de substâncias potencialmente tóxicas; e estabilidade. Como potencial agrônômico foram realizadas as análises dos teores totais de macro (N, P, K, Ca, Mg e C), micronutrientes (Fe, Al, Zn, Cu e Mn) e elementos benéficos (Ni, Na e Co), do pH, do teor de matéria orgânica e da condutividade elétrica. Quanto à presença de substâncias potencialmente tóxicas, foram avaliados os teores totais de metais pesados (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Pb e Zn) e quanto a estabilidade foi avaliada a relação carbono e nitrogênio (C/N).

Para as análises químicas dos lotes de biossólidos, foi utilizado o método de digestão EPA 3050, onde amostras de 1g de material seco de cada lote de biossólido foram digeridas com repetidas adições de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) em blocos digestores à temperatura de 95°C. A determinação dos elementos (P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Na, Co, Mn, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Pb e Zn) foi realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), que se baseia na propriedade dos átomos em estado gasoso, quando excitados, emitirem comprimentos de onda característicos. No espectrômetro ICP-OES, as amostras digeridas foram vaporizadas, atomizadas e excitadas por plasma de argônio induzido para que fosse realizada a leitura do teor de cada elemento nas amostras.

Os teores de C e N foram determinados pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador elementar CHN-600. A matéria orgânica foi calculada a partir do teor de carbono total presente em cada amostra, usando o fator de conversão de “van Bemmelen” de 1,724. O pH e a condutividade elétrica (CE) foram determinados usando 5 g de cada amostra diluída em 50 ml de água deionizada, agitado por 30 minutos e em seguida medidos em pHgâmetro e condutivímetro de bancada.

## **2.3. Valoração do biossólido visando sua utilização como condicionador de solo e substrato para produção de mudas**

A valoração econômica dos diferentes lotes de biossólido foi realizada através do método de mercado de bens substitutos, que utiliza como comparação preços de produtos cujos mercados já estão consolidados (Quintana et al., 2009). Primeiramente, os biossólidos foram valorados quanto aos seus teores de N, P e K. Os insumos cotados como fontes destes nutrientes foram ureia (N), superfosfato simples (P) e cloreto de potássio (K), por serem fertilizantes amplamente disponíveis no mercado local e muito aplicados em culturas agrícolas e florestais. Como custo base desses fertilizantes foram considerados os valores

disponibilizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), referentes ao mês de julho de 2018, por serem os dados mais recentes até a data de elaboração deste trabalho. Para conversão dos valores em Dólar Americano foi considerada a cotação média do Real em relação à moeda americana no mês de agosto de 2018, que ficou em R\$ 3,91 para cada US\$ 1,00.

Considerando que os fertilizantes químicos não são compostos puros, os dados foram ajustados em função dos teores de N, P e K em cada produto comercializado. Para os cálculos foi realizada a transformação dos percentuais de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O em percentual de P e K puros naquele determinado fertilizante. Para o N não foi necessária essa transformação, pois é informado o teor total de N. Os valores utilizados nos cálculos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Preço de fertilizantes químicos e dos nutrientes praticados pelo mercado no mês de julho 2018, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento

Fertilizante	Teor (composto)	Teor (nutriente)	Preço (Mg de fertilizante)	Preço (kg de nutriente)
Uréia	45% N	45,0% N	R\$ 1.545,00	R\$ 3,43
Superfosfato simples	18% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,9% P	R\$ 1.226,67	R\$ 15,23
Cloreto de potássio	58% K <sub>2</sub> O	48,2% K	R\$ 1.610,00	R\$ 3,34

Para o cálculo do valor agregado em nutrientes nos biossólidos provenientes das diferentes ETES, utilizou-se a equação a seguir, que leva em consideração o preço dos nutrientes e o teor dos mesmos nos diferentes lotes de biossólidos avaliados.

$$V^{\text{lodo}} = (P^{\text{N}} \times Q^{\text{N}}) + (P^{\text{P}} \times Q^{\text{P}}) + (P^{\text{K}} \times Q^{\text{K}})$$

Onde:

$V^{\text{lodo}}$  = Valor agregado ao biossólido (R\$/Mg);

$P^{\text{N}}$  = Preço da megagrama de N;

$Q^{\text{N}}$  = Quantidade de N presente por megagrama de biossólido;

$P^{\text{P}}$  = Preço da megagrama P;

$Q^{\text{P}}$  = Quantidade de P por megagrama de biossólido;

$P^{\text{K}}$  = Preço da megagrama de K;

$Q^{\text{K}}$  = Quantidade de K por megagrama de biossólido.

O biossólido também foi valorado visando sua aplicação como composto orgânico ou adubo e como substrato para produção de mudas. Para tal, foi utilizado como comparação o preço de compostos orgânicos e substratos que se encontravam disponíveis no mercado. Para obtenção dos valores de referência foram realizadas consultas às lojas de produtos agrícolas do Centro de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (CEASA-RJ) e outros fornecedores especializados neste tipo de material no estado do Rio de Janeiro.

As consultas consideraram o preço no atacado dos compostos orgânicos e substratos para produção de mudas. Foram consultados os preços de seis marcas comerciais em oito estabelecimentos agropecuários e consultados outros dois locais que produzem e comercializam composto orgânico oriundo da compostagem de resíduos sólidos domiciliares.

#### 2.4. Tabulação de dados e análises estatísticas

Os dados foram tabulados utilizando o *software* Microsoft Excel®, por meio do qual também foram calculadas as equações para valoração dos biossólidos e as médias e desvio padrão dos diferentes parâmetros avaliados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização do biossólido de diferentes procedências quanto a teores de nutrientes e metais pesados

Constata-se pela Tabela 3 que houve variação na composição química dos biossólidos das estações de tratamento de esgoto (ETEs) avaliadas. Os resultados corroboram com as afirmações de Berton e Nogueira (2010) e Andreoli et al. (2014) de que as características químicas do biossólido variam de acordo com a qualidade do esgoto a ser tratado, o tipo de instalação e tratamento de cada ETE, a forma de condicionamento do lodo e o tratamento para redução de patógenos realizado.

Tabela 3: Teores totais de macronutrientes, matéria orgânica (MO), pH, condutividade elétrica (CE) e relação C/N de biossólidos coletados em diferentes épocas em estações de tratamento de esgoto no estado do Rio de Janeiro

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	C	MO	pH	CE	C/N
	g kg <sup>-1</sup>					%	dS m <sup>-1</sup>			
Alegria 1	23,64	7,61	1,91	15,86	7,32	220,50	38,01	4,44	7,24	9,33
Alegria 2	35,67	16,65	2,92	20,19	5,37	242,10	41,74	5,20	3,34	6,79
Alegria 3	24,29	18,58	3,72	12,83	5,65	190,36	32,82	5,51	5,75	7,84
Alegria 4	32,32	17,20	2,45	23,17	6,58	218,39	37,65	4,65	3,71	6,76
Alegria 6	34,33	18,94	2,78	21,62	5,51	241,92	41,71	4,57	3,68	7,05
Média Alegria	30,05	15,79	2,76	18,73	6,08	222,65	49,28	4,87	4,74	7,55
Barra 1	34,79	10,11	0,89	22,46	2,56	343,98	59,30	6,60	1,87	9,89
Barra 2	28,12	8,52	1,31	26,21	4,29	268,51	46,29	6,21	2,58	9,55
Barra 4	34,05	10,21	1,21	17,60	4,44	276,11	47,60	6,34	4,67	8,11
Média Barra	32,32	9,61	1,14	22,09	3,76	296,20	65,16	6,38	3,04	9,18
Ilha 1	22,04	8,07	1,22	23,28	3,44	173,94	29,99	6,10	2,52	7,89
Ilha 2	21,12	8,56	1,39	17,15	2,14	201,53	34,74	5,43	1,49	9,54
Ilha 3	18,33	7,62	1,26	12,51	1,90	150,45	25,94	5,66	2,65	8,21
Ilha 4	26,28	8,22	1,37	22,17	2,90	213,41	36,79	6,34	3,37	8,12
Ilha 5	17,43	7,95	1,62	16,31	1,98	153,40	26,45	5,65	2,58	8,80
Ilha 6	19,21	7,04	1,35	17,55	2,46	171,87	29,63	5,03	3,84	8,95
Média Ilha	20,73	7,91	1,37	18,17	2,47	177,43	39,51	5,70	2,74	8,59
Pavuna 4	23,08	7,11	1,85	16,48	4,79	206,63	35,62	5,16	3,67	8,95
Sarapuí 1	21,61	15,79	2,28	15,21	2,91	129,13	22,26	7,74	1,36	5,98
Sarapuí 2	26,48	14,63	2,02	12,97	2,69	159,92	27,57	7,13	1,09	6,04
Sarapuí 3	19,39	16,38	2,36	16,67	3,56	119,52	20,60	7,61	2,44	6,17
Média Sarapuí	22,49	15,60	2,22	14,95	3,05	136,19	30,60	7,49	1,63	6,06
Média Geral	25,68	11,62	1,89	18,35	3,91	204,54	45,26	5,85	3,21	8,00
Desvio padrão	6,16	4,48	0,74	4,04	1,65	56,70	12,25	0,99	1,55	1,28

1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as coletas de lotes de biossólido realizadas em janeiro, maio e agosto de 2016 e fevereiro, julho e outubro de 2017, respectivamente.

O elemento de maior teor nos biossólidos das ETEs avaliadas foi o carbono, resultando em altos teores de matéria orgânica, que ficaram entre 20,6 e 59,3%, sendo que a média foi de 45,3%. Analisando lotes de biossólidos dessas mesmas ETEs, Abreu et al. (2017a) observaram valores de matéria orgânica (MO) mais elevados que os do presente

trabalho, ficando a média em 53,9%. Tal diferença pode ser atribuída a variação entre os lotes de biossólido, bem como às diferenças no método para determinação da MO, tendo em vista que Abreu et al. (2017a) determinaram carbono para cálculo da MO pelo método de Walkey-Black e no presente trabalho o carbono foi determinado por analisador CHN. Bettiol e Camargo (2006) mencionam que valores próximos de 40% para a MO podem ser considerados típicos para o biossólido, corroborando com a média observada no presente trabalho.

Os teores de carbono e matéria orgânica foram, em média, maiores nas amostras da ETE Barra (Tabela 5). Apesar de passar por secagem térmica, nessa estação o lodo não é estabilizado e o tratamento é realizado a nível primário, enquanto nas demais é realizado tratamento a nível secundário pelo sistema de lodos ativados (Tabela 1). De acordo com Sperling e Andreoli (2014), o biossólido proveniente de lodos ativados tende a apresentar menores teores de matéria orgânica, considerando que a mesma é parcialmente consumida por microrganismos durante o tratamento. O consumo de matéria orgânica também ocorre nos outros biossólidos durante o processo de estabilização da matéria orgânica, ausente nessa ETE. Dessa forma, é justificado que o biossólido da ETE Barra, que não é digerido biologicamente, apresente maiores teores de C e MO.

A outra estação que realiza secagem térmica para tratamento do lodo de esgoto, a ETE Sarapuí, apresentou os biossólidos com menores teores de C e MO. Durante a secagem térmica, o material é exposto a temperaturas acima de 240°C por 10 a 20 minutos, o que ocasiona queima de parte da matéria orgânica (GONÇALVES et al., 2014; CARVALHO et al., 2015). Na ETE Sarapuí, a combinação de tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados, seguida da secagem térmica do lodo, ocasionou maior degradação da matéria orgânica, justificando o resultado observado.

Dentre os macronutrientes avaliados, o nitrogênio foi o que se apresentou em maior concentração, seguido do cálcio ou do fósforo, dependendo da amostra avaliada. O nitrogênio presente no biossólido provém dos dejetos presentes no esgoto e da biomassa microbiana, existindo tanto nas formas orgânicas como inorgânicas. A fração orgânica constitui a maior porção do N no biossólido, respondendo por 70 a 90% do total (CARVALHO et al., 2015), o que pode ser considerado vantajoso, já que o N mineral é prontamente absorvido, lixiviado ou perdido no solo ou substrato, sendo armazenando apenas na forma orgânica (ANDREOLI et al., 2014). Essa característica faz com que o N presente no biossólido seja liberado lentamente para o sistema, o que pode ser favorável em comparação com fertilizantes químicos. Considerando que existe uma forte dependência nacional da importação desse nutriente e os custos para aquisição do mesmo são relativamente altos, o reaproveitamento do biossólido e consequentemente do N contido nele, assume importância não apenas como uma vantagem do ponto de vista ambiental, mas também com relevante interesse estratégico e econômico (ANDRADE et al., 2010).

Os teores de nitrogênio nas amostras de biossólido avaliadas variaram entre 17,43 e 35,67 g kg<sup>-1</sup>, valores próximos aos observados por Carvalho et al. (2015) que analisaram cinco biossólidos, oriundos de ETEs do estado de São Paulo, e observaram teores de N, que variaram de 17,40 a 42,63 g kg<sup>-1</sup>. Os maiores teores de nitrogênio foram observados nas amostras das ETEs Barra e Alegria, o que pode ter ocorrido devido ao tratamento de lodo de esgoto realizado por cada ETE. Na ETE Barra, o esgoto é tratado a nível primário, não passando por digestão biológica, processo que consome e volatiliza parte do nitrogênio que estaria presente no resíduo sólido. Na ETE Alegria, como as amostras foram coletadas após desaguamento, não passando por secagem, ocorreu menor volatilização do N durante o processo de tratamento do lodo, resultando em maiores concentrações desse elemento.

Devido a seu baixo teor de carbono e alto de nitrogênio, o bioossólido da ETE Sarapuí foi o que apresentou menor relação C/N. Todos os bioossólidos avaliados apresentaram valores de relação C/N próximos a 10:1, indicados por Kiehl (2002) como valor em que o composto orgânico se encontra humificado ou acabado, sugerindo que tais materiais se encontram estabilizados e, considerando apenas esse aspecto, aptos para a utilização como composto orgânico ou substrato. Tal resultado pode ser justificado pelo fato dos bioossólidos, com exceção da ETE Barra, terem passado por processos de digestão de matéria orgânica, durante o tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados, bem como durante a estabilização no tratamento do lodo. Na ETE Barra, a estabilidade do material pode ser explicada pela secagem térmica empregada na unidade, nesse processo, junto com a retirada da umidade do bioossólido acontece a estabilização da matéria orgânica por meio da queima de suas frações mais biodegradáveis (LUDUVICE, 2014).

O fósforo no bioossólido provém dos dejetos presentes no esgoto, células de microrganismos, detergentes e sabões que utilizam fosfato como aditivo (ANDREOLI et al., 2014). O teor de P nos lotes de bioossólidos analisados variou de 7,11 até 18,94 g kg<sup>-1</sup>, valores próximos aos observados em outros estudos (CARVALHO et al., 2015; CONSUEGRA et al., 2016). O reaproveitamento do bioossólido para suprir demandas de fertilização com fósforo possui elevado potencial econômico e ambiental, considerado que este elemento é essencial para todos os organismos vivos e fundamental na produção de alimentos. Seguindo o ritmo atual de exploração e uso do P a partir de fontes minerais, a estimativa é que as reservas mundiais durem por mais 50 a 100 anos (MARTÍNEZ et al., 2014). Em solos de clima tropical e subtropical, como no Brasil, a dependência das fertilizações fosfatadas é mais acentuada, pois o P encontra-se fortemente adsorvido nos minerais de argila dos solos, demandando, normalmente, a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, que em sua grande maioria são importados à um alto custo (ANDRADE et al., 2010; MACHADO et al., 2011). A tendência é que o fósforo fique cada vez mais caro, visto que há um evidente decréscimo da quantidade e qualidade das rochas fosfáticas no mercado, o que leva há necessidade urgente de buscar novas fontes e desenvolver métodos sustentáveis para a reciclagem deste elemento, sendo uma das alternativas o reaproveitamento agrícola e florestal de bioossólidos (ABREU et al., 2017a).

O potássio, segundo Berton e Nogueira (2010), se apresenta em menores concentrações nos lodos de esgoto que passaram por desaguamento, o que ocorre devido à sua alta solubilidade, fazendo com que este nutriente permaneça diluído na água residuária. Os valores encontrados no presente trabalho variaram entre 0,89 e 3,72 g kg<sup>-1</sup>, ficando a média em 1,89 g kg<sup>-1</sup>, e foram próximos aos observados por Nascimento (2016), que verificou teores de K variando de 0,50 a 4,60 g kg<sup>-1</sup>, em bioossólidos provenientes de 19 ETES do estado de São Paulo. Conforme afirmam Mitshali et al. (2014), para reaproveitamento agrícola ou florestal do bioossólido, os baixos teores de K podem demandar a aplicação de fertilização química complementar, dependendo da necessidade da cultura e do teor desse elemento no solo. Menores teores de potássio foram observados nas amostras das ETE Barra, a única dentre as avaliadas que realiza apenas tratamento primário de esgoto (Tabela 1). Tal resultado pode ter ligação com esse sistema de tratamento, embora não tenha sido encontrada comprovação na literatura.

Os teores de cálcio observados nos bioossólidos variaram entre 12,51 e 26,21 g kg<sup>-1</sup>, ficando a média em 18,35 g kg<sup>-1</sup>. Como nas ETES estudadas não é adotado o tratamento de caleação para higienização do lodo de esgoto, justificam-se os teores mais baixos de Ca em relação ao observado por outros autores (CARVALHO et al., 2015; CONSUEGRA et al., 2015; NASCIMENTO, 2016). Para magnésio a variação nos bioossólidos avaliados foi de 1,90 a 7,32 g kg<sup>-1</sup>, sendo a média de 3,91 g kg<sup>-1</sup>, valores em geral mais altos que os encontrados por Nascimento (2016), que analisaram bioossólidos de 19 ETES no estado de São Paulo e

encontraram teores de Mg variando de 1,0 a 4,5 g kg<sup>-1</sup>. O magnésio, segundo Tsutiya (2001), é um elemento que está presente no biossólido essencialmente na forma mineral / inorgânica, em geral, pequenas dosagens podem suprir as necessidades das plantas por esse nutriente.

Os biossólidos das ETEs Ilha, Alegria e Pavuna apresentaram pH ácido, em torno de 5,0 e 5,5 para a maioria das amostras. Na ETE Barra os pH observados foram levemente ácidos e na ETE Sarapuí levemente alcalinos, em ambos os casos, próximos ao neutro. Em geral, os biossólidos apresentam pH levemente alcalino, principalmente quando é realizada a estabilização alcalina ou caleação, normalmente empregada para higienização no processo de tratamento do lodo (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Nenhum dos biossólidos avaliados foi submetido a caleação, sendo essa uma justificativa para os valores ácidos de pH observados nas diferentes amostras. Segundo Banegas et al. (2007) o pH do biossólido pode se acidificar como resultado da formação de ácidos húmicos decorrentes da decomposição da matéria orgânica, bem como da nitrificação e perda de amônio por volatilização.

Os valores mais altos de condutividade elétrica (CE) foram observados em amostras das ETE Alegria e Pavuna e algumas coletas da ETE Ilha. Na aplicação de biossólidos em solos agrícolas, a condutividade elétrica mais alta se torna uma preocupação apenas em regiões de baixa precipitação e ou solo sujeito a salinidade (BETTIOL e CAMARGO, 2006). No caso da utilização do biossólido em substratos, a salinidade é tida como uma das principais limitações (CAI et al., 2010). Segundo Gonçalves et al. (2000) valores acima de 1,0 dS m<sup>-1</sup> podem ser problemáticos para algumas culturas, o que poderia limitar a aplicação de algumas das amostras avaliadas para esse fim. No entanto, a salinidade pode ser manejada por meio da lavagem do material, tendo em vista que os sais tendem a drenar dissolvidos no excesso de água (ZAPATA et al., 2005). Como observado por Hernández-Apaoloza et al. (2005), em estudo com mudas de espécies arbóreas, no qual a CE inicial era de 9,3 dS m<sup>-1</sup> em substrato com 70/30% de fibra de coco e lodo compostado, reduzindo para 2,2 dS m<sup>-1</sup> no cultivo de mudas de *P. pinea*, 0,9 dS m<sup>-1</sup> para *Cupressus arizonica* e 1,9 dS m<sup>-1</sup> para *Cupressus sempervirens*, considerando que o experimento teve duração de um ano.

De forma geral, as amostras de biossólido da ETE Ilha apresentaram menores teores de micronutrientes e as das ETEs Sarapuí e Alegrias os maiores (Tabela 4). Dentre os micronutrientes, teores altos de ferro e alumínio foram observados nas amostras de biossólidos. Em alguns casos, como nos biossólidos da ETE Sarapuí, os teores desses elementos foram superiores aos de nitrogênio e demais macronutrientes. O ferro possui importância como componente de proteínas e enzimas relacionadas a fotossíntese e respiração das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Este elemento em excesso pode causar toxidez, como observado para mudas da espécie arbórea *Eugenia uniflora* por Jucoski et al. (2016), onde teores foliares entre 120 e 229 mg kg<sup>-1</sup> resultaram em sintomas de toxidez como diminuição do crescimento, bronzeamento foliar e escurecimento de raízes. Nascimento et al. (2004) observaram que o Fe foi o metal de maior concentração no lodo de esgoto estudado, porém após aplicação do material no solo houve pouca disponibilidade de Fe, indicando que o elemento se encontrava em formas pouco disponíveis, como óxidos de ferro ou na composição da matéria orgânica.

Tabela 4: Teores totais de micronutrientes e elementos benéficos em amostras de biossólidos coletadas em diferentes épocas em estações de tratamento de esgoto na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro

Amostra	Fe	Al	Mn	Cu	Zn	Ni	Na	Co
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Alegria 1	40525	40608	229,3	188,0	1422,6	28,8	3176,3	5,9
Alegria 2	35165	22983	253,3	327,0	1092,6	60,8	676,3	5,9



Alegria 3	41195	34463	308,8	436,0	1162,6	49,3	891,3	9,1
Alegria 4	34065	24133	179,8	323,0	947,6	51,8	626,3	5,4
Alegria 6	34905	24458	247,8	330,0	1212,6	50,8	731,3	5,4
Média Alegria	37171	29329	243,8	320,8	1167,6	48,3	1220,3	6,3
Barra 1	21190	21438	130,8	212,0	1152,6	18,3	596,3	2,6
Barra 2	33200	20818	178,3	312,0	1762,6	49,3	456,3	4,6
Barra 4	33645	24413	183,3	277,0	1672,6	31,3	621,3	3,8
Média Barra	29345	22223	164,1	267,0	1529,2	33,0	558,0	3,6
Ilha 1	29895	33353	171,8	237,0	1157,6	17,8	616,3	4,0
Ilha 2	33375	34078	148,3	222,0	927,6	26,3	206,3	4,1
Ilha 3	30805	31118	143,3	212,0	822,6	17,3	96,3	3,9
Ilha 4	31845	30888	168,3	202,0	1007,6	17,8	201,3	4,3
Ilha 5	33970	41733	160,8	237,0	857,6	24,3	126,3	4,8
Ilha 6	31290	33613	173,8	170,0	947,6	19,8	241,3	4,2
Média Ilha	31863	34130	161,0	213,3	953,4	20,6	248,0	4,2
Pavuna 4	33945	35378	218,3	240,0	1167,6	29,3	3446,3	5,9
Sarapuí 1	58415	49993	2828,3	112,0	402,1	28,8	401,3	7,9
Sarapuí 2	57615	52793	2533,3	113,0	383,1	23,3	431,3	7,9
Sarapuí 3	68015	57243	2768,3	127,0	827,6	22,8	426,3	9,2
Média Sarapuí	61348	53343	2709,9	117,3	537,6	25,0	419,7	8,3
Média geral	37947	34083	612,5	237,6	1051,4	14,1	949,6	1,9
Desvio padrão	11709	10864	967,7	85,3	355,7	31,6	776,1	5,5

1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as coletas de lotes bioestabilizado realizadas em janeiro, maio e agosto de 2016 e fevereiro, julho e outubro de 2017, respectivamente.

A toxicidade por alumínio é considerada um dos principais problemas nos solos de pH ácido, como a maioria dos encontrados no território brasileiro, sendo um fator limitante para o crescimento de raízes e das plantas (ECHART e MOLINA, 2001). Dessa forma, os altos teores de Al observados nos bioestabilizados podem ser um problema para aplicação desses materiais em solos ácidos. Por outro lado, a adição de bioestabilizado em substrato para produção de mudas florestais, segundo Nóbrega et al. (2007), promoveu decréscimo na saturação por alumínio, que foi relacionada a possível complexação do elemento na matéria orgânica.

O teor de sódio foi muito elevado para a ETE Pavuna, o que pode significar alta salinidade do bioestabilizado, restringindo ou mesmo impedindo sua aplicação em atividades agrícolas e florestais. No entanto, deve-se ressaltar que nessa ETE foi possível a realização de coleta em apenas uma época, esse alto teor não necessariamente denota um padrão para essa estação, mas provavelmente algo esporádico, como o que ocorreu na amostra 1 da ETE Alegria, que também apresentou alto teor de sódio.

Nas amostras da ETE Sarapuí foi observado um alto teor de manganês, o que pode indicar aporte indevido de esgoto industrial na rede de coleta dessa ETE, já que o elemento é utilizado na indústria siderúrgica, fabricação de pilhas, fertilizantes e ração animal (GARCIA, 1999). Esse elemento é um micronutriente importante para as plantas no metabolismo da fotossíntese e como componente de enzimas, mas em altas concentrações pode causar toxidez (MILLALEO et al., 2010). Para a espécie arbórea *Populus cathayana*, Lei et al. (2007) observaram redução do crescimento e produção de biomassa de mudas a partir de concentrações de 218 mg kg<sup>-1</sup> de Mn no tecido foliar, o que indica que os teores do elemento no bioestabilizado da ETE Sarapuí podem ser tóxicos para determinadas espécies de plantas. No entanto, Dalpísol et al. (2017) mencionam que em pH alcalino, como o observado nas

amostras da ETE Sarapuí, o manganês se torna indisponível para as plantas podendo ser complexado na matéria orgânica.

Constata-se pela Tabela 6, que nas diferentes ETEs e épocas de coleta as concentrações de metais pesados encontradas foram menores que as permitidas pela resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Considerando apenas esse parâmetro, todas as amostras de biossólido coletadas durante o presente estudo seriam viáveis para a aplicação em atividades agrícolas e florestais. Deve-se lembrar que para resguardar o meio ambiente e a saúde humana, a aplicação segura de biossólido na agricultura ou como substrato, deve considerar outros parâmetros, não abordados pelo presente estudo, como a presença ou ausência de microrganismos patogênicos, conforme consta na própria resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006). Alguns dos materiais avaliados, como os biossólidos das ETEs Alegria, Ilha e Pavuna não passaram por processos de higienização durante seu tratamento, reforçando a necessidade de análises microbiológicas para recomendação de uso dos biossólidos avaliados. Os biossólidos das ETEs Sarapuí e Barra passaram por higienização em secador térmico a altas temperaturas, processo que segundo Ludovice (2014) garante um produto final livre de organismos patogênicos, tendo portanto, maior potencial para reaproveitamento.

Tabela 6: Teores totais de metais pesados em biossólidos coletados em diferentes épocas em estações de tratamento de esgoto na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro

Amostra	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
Alegria 1	1,4	227,6	1,5	50,8	188	62,7	28,8	1422,6
Alegria 2	1,0	548,6	1,9	216,8	327	206,2	60,8	1092,6
Alegria 3	1,8	393,1	2,3	288,8	436	207,2	49,3	1162,6
Alegria 4	1,6	380,1	2,4	134,3	323	141,2	51,8	947,6
Alegria 6	0,9	383,1	2,5	127,8	330	133,7	50,8	1212,6
Média Alegria	1,3	386,5	2,1	163,7	320,8	150,2	48,3	1167,6
Barra 1	<0,011	133,6	1	20,8	212	36,4	18,3	1152,6
Barra 2	<0,011	184,6	1,4	76,8	312	81,2	49,3	1762,6
Barra 4	<0,011	225,1	1,3	76,8	277	88,2	31,3	1672,6
Média Barra	<0,011	181,1	1,2	58,2	267	68,6	33,0	1529,2
Ilha 1	0,7	298,6	1,6	141,8	237	51,2	17,8	1157,6
Ilha 2	0,2	202,1	1,4	166,8	222	56,2	26,3	927,6
Ilha 3	<0,011	178,1	1,1	141,8	212	33,7	17,3	822,6
Ilha 4	<0,011	293,6	1,5	106,8	202	33,7	17,8	1007,6
Ilha 5	<0,011	212,6	1,5	164,8	237	86,7	24,3	857,6
Ilha 6	<0,011	204,1	1,4	55,8	170	40,2	19,8	947,6
Média Ilha	0,1	231,5	1,4	129,7	213	50,3	20,6	953,4
Pavuna 4	1	278,6	1,9	113,3	240	86,2	29,3	1167,6
Sarapuí 1	<0,011	758,6	1,6	84,8	112	136,7	28,8	402,1
Sarapuí 2	<0,011	753,6	1,6	89,8	113	131,2	23,3	383,1
Sarapuí 3	<0,011	503,6	1,9	100,8	127	121,2	22,8	827,6
Média Sarapuí	<0,011	672,0	1,7	91,8	117,3	129,7	25,0	537,6
Média geral	1,1	342,2	1,6	120,0	237,6	96,3	31,6	1051,4
Desvio padrão	0,5	188,3	0,4	63,5	85,3	54,8	14,1	355,7

CONAMA	41	1300	39	300	1500	1000	420	2800
--------	----	------	----	-----	------	------	-----	------

1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as coletas de lotes biossólido realizadas em janeiro, maio e agosto de 2016 e fevereiro, julho e outubro de 2017, respectivamente.

Considerando a média de todas as amostras em relação aos teores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), a ordem de atenção foi Pb > Zn > Ba > Cu > Cr > Ni > Cd > As, que encontram-se respectivamente a 40, 37, 26, 15, 10, 7, 4 e 3% do limite máximo para utilização agrícola. O chumbo foi o elemento cuja concentração mais se aproximou do máximo permitido pela legislação, chegando a 40% do permitido em média e a 54% para a ETE Alegria, que apresentou maior concentração média de Pb. Este é um elemento onipresente, considerando sua ocorrência natural no meio ambiente e seus variados usos industriais, não é essencial para plantas e animais e pode ser tóxico para ambos (SILVA et al., 2014), o que justifica a preocupação e monitoramento dos teores de chumbo em diferentes lotes de biossólidos.

Dentre os metais pesados avaliados o zinco foi o que se apresentou em maiores concentrações nas amostras de biossólido. Esse elemento é considerado um micronutriente importante para o crescimento dos vegetais, já que participa formação de variadas enzimas (FAQUIN, 2005). Considerando que o Zn é o micronutriente que mais apresenta deficiência em solos brasileiros (DALPISOL et al., 2017), é desejável sua presença em biossólidos destinados a atividades agrícolas e florestais, desde que o mesmo se mantenha em níveis abaixo do permitido pela legislação. Quando em excesso, o zinco é prontamente retirado do solo/substrato e absorvido pelas plantas, a contaminação por esse elemento pode levar ao amarelecimento das folhas e crescimento atrofiado (SILVA et al., 2014).

As amostras coletadas na ETE Sarapuú apresentaram concentração de Bário superior às das demais estações. Embora os teores desse elemento não tenham superado o valor máximo presente na legislação, a considerável diferença nos valores observados entre essa e as demais ETEs pode indicar despejo ilegal de esgoto industrial na bacia de coleta da ETE Sarapuú, tendo em vista a utilização de Ba em processos industriais, principalmente na área petrolífera, como componente de fluídos de perfuração (MAGALHÃES et al., 2011).

### 3.2. Valoração do biossólido visando sua utilização como fertilizante, composto orgânico e substrato para produção de mudas

Os biossólidos da ETE Alegria, em geral, foram os que apresentaram maior valor agregado, seguidos dos da ETE Sarapuú e Barra (Tabela 7). Já os menores valores agregados foram observados nos biossólidos da ETE Ilha do Governador e Pavuna. Tais resultados seguem a tendência verificada e já discutida para os teores de macronutrientes nesses mesmos biossólidos. O valor agregado aos biossólidos foi em média de R\$ 274,82 por megagrama, considerando os teores de macronutrientes das amostras avaliadas.

Tabela 7: Teor e valor agregado de nutrientes por megagrama de biossólidos coletados em diferentes épocas em estações de tratamento de esgoto na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro

Amostra	Teores de nutrientes			Valor agregado ao biossólido				
	N	P	K	N	P	K	Total	Total
	kg Mg <sup>-1</sup>			R\$ Mg <sup>-1</sup>				(USD Mg <sup>-1</sup> )
A1	23,64	7,61	1,91	81,10	118,13	6,39	205,62	52,54
A2	35,67	16,65	2,92	122,34	258,52	9,75	390,61	99,81
A3	24,29	18,58	3,72	83,30	288,49	12,44	384,23	98,18

A4	32,32	17,20	2,45	110,86	267,06	8,18	386,10	98,66
A6	34,33	18,94	2,78	117,76	294,16	9,28	421,20	107,63
Média A	30,05	15,79	2,76	103,07	245,27	9,21	357,55	91,37
B1	34,79	10,11	0,89	119,32	156,95	2,98	279,26	71,36
B2	28,12	8,52	1,31	96,45	132,34	4,37	233,16	59,58
B4	34,05	10,21	1,21	116,79	158,51	4,05	279,35	71,38
Média B	32,32	9,61	1,14	110,85	149,27	3,80	263,92	67,44
I1	22,04	8,07	1,22	75,60	125,27	4,09	204,96	52,37
I2	21,12	8,56	1,39	72,42	132,96	4,65	210,04	53,67
I3	18,33	7,62	1,26	62,86	118,28	4,20	185,35	47,36
I4	26,28	8,22	1,37	90,12	127,68	4,59	222,39	56,83
I5	17,43	7,95	1,62	59,78	123,49	5,42	188,69	48,22
I6	19,21	7,04	1,35	65,90	109,35	4,50	179,76	45,94
Média I	20,73	7,91	1,37	71,12	122,84	4,58	198,53	50,73
PA4	23,08	7,11	1,85	79,15	110,36	6,17	195,69	50,00
SA1	21,61	15,79	2,28	74,11	245,24	7,61	326,96	83,55
SA2	26,48	14,63	2,02	90,82	227,15	6,74	324,71	82,97
SA3	19,39	16,38	2,36	66,49	254,33	7,89	328,72	84,00
Média S	22,49	15,60	2,22	77,14	242,24	7,42	326,79	83,51
<b>Média G</b>	<b>25,68</b>	<b>11,62</b>	<b>1,89</b>	<b>88,07</b>	<b>180,46</b>	<b>6,30</b>	<b>274,82</b>	<b>70,23</b>

A: ETE Alegria; B: ETE Barra; I: ETE Ilha do Governador; P: ETE Pavuna e S: ETE Sarapuí e 1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as coletas de lotes biossólido realizadas em janeiro, maio e agosto de 2016 e fevereiro, julho e outubro de 2017, respectivamente.

Os valores observados neste trabalho foram inferiores ao encontrado por Quintana et al. (2009), que calcularam para o biossólido gerado na ETE Barueri o valor agregado de R\$ 282,89 por megagrama do material. Esta diferença pode ser creditada às diferenças na composição química dos biossólidos e flutuações nos preços dos fertilizantes químicos. Analisando as perspectivas para utilização de biossólido gerado em ETEs do Cairo e Alexandria, Ghazy et al. (2009) realizaram a valoração do material e encontraram valor agregado em N, P, K e MO de US\$ 53,00 Mg<sup>-1</sup>, quando levado em consideração o preço dos fertilizantes subsidiado pelo governo Egípcio. Já quando os autores consideram o preço dos fertilizantes sem o subsídio, o biossólido atingiu o valor agregado de US\$ 118,53 por megagrama, mais alto que a média de US\$ 70,23 encontrada no presente trabalho.

Em experimento realizado na região metropolitana de Curitiba, Bittencourt et al. (2014) estudaram a aplicação de 88.166 megagramas de biossólido, em 2.288 hectares de 80 diferentes propriedades rurais, durante os anos de 2007 e 2010. Os autores observaram que o biossólido foi capaz de suprir 88% da demanda de calcário, 74% do N, 73% do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 35% do K<sub>2</sub>O em plantações de milho, soja, feijão, aveia, trigo, adubação verde e na implantação e pós-colheita de pomares de frutas de caroço. Segundo os autores, esses resultados ocasionaram uma economia com fertilizantes e calcário em média de US\$ 813,45 por hectare para um período de 3 anos. Esse estudo prático confirma a possibilidade de economia existente no aproveitamento agrícola dos biossólidos avaliados no presente trabalho, corroborando para que ela seja estimulada.

Observa-se que, em geral, o P foi o componente que mais contribuiu para a valoração do biossólido, correspondendo em média a 66% do valor agregado do material. Tal resultado é considerado positivo, já que o fósforo é o elemento mineral mais aplicado nas lavouras brasileiras, considerando a alta capacidade de fixação de P que os solos do Brasil apresentam,

o que ocasiona baixa eficiência da fertilização mineral (ANDREOLI et al., 2014). A aplicação de biofósforo no solo pode ocasionar maior disponibilidade de fósforo para as plantas, não apenas pelos teores presentes no material, como também pelo fato de que durante a decomposição do biofósforo os ácidos orgânicos liberados podem bloquear os mesmos sítios de adsorção do fósforo, diminuindo sua fixação no solo (MUNHOZ e BERTON, 2006).

O nitrogênio correspondeu em média a 32% do valor agregado dos biofósforos. De acordo com a Andreoli et al (2014), em geral o nitrogênio é o elemento de maior valor econômico no biofósforo, o que não ocorreu no presente trabalho. Tal resultado pode ser consequência do alto preço praticado pelo mercado para o fertilizante superfosfato simples, considerado como fonte de P no presente estudo, o que elevou o valor agregado desse elemento nos biofósforos.

Em função do baixo teor encontrado na composição do biofósforo, o K correspondeu em média a apenas 2% do valor agregado. Segundo Bettiol e Camargo (2006), geralmente a aplicação de biofósforo no solo não supre a necessidade de potássio de culturas agrícolas, sendo necessária a fertilização mineral complementar com esse elemento. Dessa forma, o valor agregado pelo K ao biofósforo pode ser considerado nulo, tendo em vista que o produtor teria que gastar com a aquisição e aplicação de fertilizantes para atender à necessidade das plantas por potássio.

Na Tabela 8 são apresentados os preços dos substratos e condicionadores de solos disponíveis no mercado agropecuário do estado do Rio de Janeiro. Quanto aos substratos, observa-se que os valores variam de acordo com o componente principal dos mesmos, sendo o preço médio de R\$ 907,62 por megagrama. De modo geral, pode-se afirmar que os substratos para produção de mudas possuem elevado valor de mercado no estado do Rio de Janeiro e o reaproveitamento do biofósforo para esta finalidade pode ser uma alternativa interessante economicamente para os viveiristas e produtores rurais.

Tabela 8: Preço de substratos e compostos orgânicos disponíveis no mercado agropecuário do estado do Rio de Janeiro

Produto	Componente principal*	R\$ Mg <sup>-1</sup>	US\$ Mg <sup>-1</sup>
Substrato 1	Turfa de esfagno	1.000,00	255,53
Substrato 2	Turfa de esfagno	1.020,00	260,64
Substrato 3	Fibra de coco	900,00	229,98
Substrato 4	Fibra de coco	919,60	234,99
Substrato 5	Casca de pinus compostada	800,00	204,43
Substrato 6	Casca de pinus compostada	712,50	182,07
Substrato 7	Casca e acícula de pinus compostada	999,50	255,40
<b>MÉDIA</b>		<b>907,37</b>	<b>231,86</b>
Composto 1	Resíduos domésticos compostados	300,00	76,66
Composto 2	Resíduos domésticos compostados	320,00	81,77
<b>MÉDIA</b>		<b>310,00</b>	<b>79,21</b>

\*informações disponibilizadas pelos fabricantes.

Os compostos orgânicos obtidos a partir de resíduos domésticos apresentaram valor de mercado menor, sendo o valor médio de R\$ 310,00. A comercialização destes compostos orgânicos não é a atividade principal das empresas analisadas, justificando os resultados observados. Ambas as empresas possuem um modelo de negócios que é baseado na coleta de resíduos orgânicos residenciais (casas, condomínios, restaurantes, empresas etc) e a compostagem é apresentada como forma de tratamento destes resíduos, seu produto constitui uma fonte de renda complementar.

Os valores estimados pelo método de bens substitutos indicam que maior valor pode ser agregado ao biofósforo com a destinação do mesmo para elaboração de substratos

comerciais, em comparação com a utilização do material como fertilizante ou composto orgânico. É necessário considerar que a valoração do biossólido como substrato pode ter sido superestimada com a adição de valores não considerados na valoração como adubo ou composto orgânico. Tendo em vista que os preços de substratos foram apurados no varejo, tais valores incluem, entre outros custos, aqueles com embalagem, transporte e estocagem desses materiais, os quais não incidem nos compostos orgânicos e fertilizantes, que tiveram valores apurados para comercialização à granel.

O custo de preparação dos biossólidos para aplicações em solos agrícolas ou como substrato também deve ser considerado. Parte dos materiais avaliados não foram higienizados durante seu processo de tratamento nas ETEs, estes deveriam ser obrigatoriamente higienizados antes de sua utilização, gerando custos que devem ser abatidos dos valores agregados a esses biossólidos.

Até o ano de 2013, eram gerados diariamente nas ETEs do estado do Rio de Janeiro 365 megagramas de biossólido, dessa forma, em um ano a produção deste resíduo no estado atinge 133.225 megagramas (PERS, 2014). Fazendo-se uma extrapolação dos valores médios observados no trabalho e levando-se em consideração a geração anual de biossólido, chega-se ao potencial de valor agregado de R\$ 36.612.894,50 para comercialização do biossólido como adubo (com base nos teores de macronutrientes), R\$ 41.299.750,00 como composto orgânico e de R\$ 120.884.368,25 para venda como substrato a base de biossólido. Embora possua alto valor agregado, o biossólido ainda é disposto quase que totalmente em aterros sanitários, gerando alto custo para sua disposição e ainda imobilizando grande quantidade de nutrientes e matéria orgânica, que poderiam ser reaproveitados.

Com a dificuldade de abertura de novos aterros sanitários e terceirização ou fechamento de aterros públicos, a tendência de disposição final de biossólidos em aterros privados será cada vez mais frequente e os custos cada vez mais elevados (ABREU et al., 2017a). Como exemplo, o centro de tratamento de resíduos de Seropédica (Aterro sanitário) cobra em média R\$ 160,00 Mg<sup>-1</sup> para disposição final de lodo de esgoto que contenha menos de 30% de umidade, sem incluir os custos com transporte, que são pagos pela unidade geradora. Considerando a quantidade de biossólido gerada por ano no estado, os custos para descarte do material em aterros sanitários são de R\$ 21.316.000,00 por ano. Com isso, pode-se afirmar que no estado do Rio de Janeiro são gastos mais de 21 milhões de reais por ano para se desfazer de um material com valor potencial entre 36 e 120 milhões de reais.

Estudos já realizados comprovam o potencial da aplicação do biossólido gerado em algumas das ETEs avaliadas no presente trabalho como substrato para a produção de mudas florestais. Em trabalho de Abreu et al. (2017b) foi avaliada a produção de mudas de *Lafoensia pacari* em diferentes resíduos urbanos em comparação com substrato comercial a base de casca de pinus. Os autores concluíram que os biossólidos oriundos das ETEs Sarapuí, Ilha e Alegria, apresentaram elevado potencial e resultados de crescimento e qualidade de mudas superiores ao substrato comercial. Foi constatado ainda que as mudas produzidas com biossólido apresentaram qualidade satisfatória sem necessidade de fertilização química, o que representa uma simplificação no processo de produção de mudas florestais e redução de gastos com aquisição de fertilizantes químicos, podendo trazer economia para os viveiristas.

O substrato comercial utilizado por Abreu et al. (2017b) era a base de casca de pinus, o valor mínimo apurado pelo presente trabalho para substrato com esse mesmo material seria de R\$ 800,00 a megagrama. Considerando que os autores observaram melhores resultados para os biossólidos do que para o substrato comercial, pode-se inferir, nestas condições, que um substrato a base de biossólido poderia custar, no mínimo, o equivalente ao do substrato comercial utilizado como testemunha pelos autores. Outros autores também observaram melhores resultados para biossólidos na produção de mudas florestais em comparação com substratos comerciais à base de casca de pinus (CALDEIRA et al., 2013; CALDEIRA et al.,

2014; TRAZZI et al., 2014), confirmando que essa é uma alternativa promissora de reaproveitamento do biossólido e que sua valoração como substrato para mudas florestais pode ser cogitada.

Diferentes proporções de composto de lodo de esgoto (lodo + poda de árvores) e casca de arroz carbonizada foram testadas por Rocha et al. (2013) para produção de mudas de eucalipto. A comparação foi realizada com um substrato comercial de turfa de esfagno enriquecido com calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK. Os autores concluíram que o composto de lodo de esgoto pode ser empregado na produção de mudas de eucalipto nas proporções de 60 a 100%, com resultados superiores ao substrato comercial testado. O substrato formulado a partir de turfa de esfagno além de dispendioso, é produzido causando considerável impacto ambiental nas áreas de extração de turfa (WHINAM et al., 2003). Sendo assim, a utilização do biossólido pode trazer não apenas benefícios econômicos, mas também mais sustentabilidade para na formulação de substratos.

#### 4. CONCLUSÕES

Todos os lotes de biossólido avaliados apresentaram concentrações de metais pesados abaixo das permitidas pela legislação e altos teores de nutrientes e matéria orgânica. Considerando apenas as características químicas, todos materiais avaliados teriam potencial para utilização como composto orgânico ou substrato para plantas.

O biossólido poderia ser comercializado a valores médios de R\$ 274,82 a megagrama para utilização como adubo, considerando os teores totais de N, P e K em sua composição. Como composto orgânico, o biossólido poderia ser comercializado pelo valor médio de R\$ 310,00 no estado do Rio de Janeiro. Um substrato comercial a base de biossólido poderia ser comercializado no varejo em média a R\$ 907,37 a megagrama, considerando o preço praticado no mercado para produtos semelhantes.

A utilização de biossólido pode promover considerável redução na aquisição de fertilizantes químicos e substratos comerciais, embasando a viabilidade de reaproveitamento desse material na área agrícola ou florestal. No entanto, além de suas características químicas, o material deve ser avaliado quanto a existência ou não de microrganismos patogênicos.

Dentre todos os avaliados, o biossólido da ETE Sarapuí foi o que apresentou maior potencial para reaproveitamento. Além de características químicas adequadas, durante seu tratamento na ETE, o material passou por estabilização da matéria orgânica, desidratação e higienização em secador térmico a altas temperaturas, processo que elimina organismos patogênicos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n. 4, p. 2433-2448, 2017a.

ABREU, A. H. M.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S.; ALONSO, J. M. Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.21, n.2, p.83-87, 2017b.

ANDRADE, C. A.; BOEIRA, R. C.; PIRES, A. M. M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução nº 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A.

M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA.** Botucatu: FEPAF, 2010, 407 p.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

BANEGAS, V.; MORENO, J. L.; MORENO, J. I.; GARCÍA, C.; LEÓN, G.; HERNÁNDEZ, T. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. **Waste Management.** Amsterdam, v.27, n.1, p.1317-1327, 2007.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA.** Botucatu: FEPAF, 2010, 407 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BIELSCHOWSKY, M. C. **Modelo de Gerenciamento de Lodo de Estação de Tratamento de Esgotos: Aplicação do Caso da Bacia da Baía de Guanabara.** 2014, 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba metropolitan region, Paraná, Brazil. **Water, Air & Soil Pollution.** Dordrecht, v.225, n.2074, p.2-8, 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018, 220p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil,** Brasília, 30 ago 2006, n. 167, p. 141-146.

CAI, H.; CHEN, T.; LIU, H.; GAO, D.; ZHENG, G.; ZHANG, J. The effect of salinity and porosity of sewage sludge compost on the growth of vegetable seedlings. **Scientia Horticulturae,** Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 381-386, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore.** Viçosa, v.37, n.1, p.31-39, 2013.

CALDEIRA, M. V. W.; FAVALESSA, M.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SANTOS, F. E. V.; VIEIRA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae.** Bom Jesus, v.5, n.1, p.34-43, 2014.



CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição Química da Matéria Orgânica de Lodos de Esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.3, p. 413-419, 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Relatório de Insumos Agropecuários**, Grupo Fertilizante, Sub-Grupo Químico, UF SP, Ano 2018. Brasília: CONAB, 2018.

CONSUEGRA, S. B. M.; NAVARRO, F. J. G.; VILLAJOS, J. A. A. O.; REYES, C. P.; HIGUERAS, P. L. Effect of the addition of sewage sludge as a fertilizer on a sandy vineyard soil. **Jornal of Soils and Sediments**. Dordrecht, v.16, n.4, p.1360-1365, 2016.

DALPISOL, M.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; POGGERE, G. C.; BITTENCOURT, S.; BARBOSA, J. Z. Zinc, copper and manganese availability in soils treated with alkaline sewage sludge from Paraná state (Brazil). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.41, n.1, p.85-97, 2017.

ECHART, C. L.; MOLINA, S. C. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 186p.

GARCIA, M. A. A. **O manganês e seus usos industriais**. 1999, 87 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GHAZY, M.; DOCKHOM, T.; DICHTL, N. Sewage sludge management in Egypt: current status and perspectives towards a sustainable agricultural use. **International Journal of Environmental and Ecological Engineering**. Istanbul, v.3, n.9, p.270-278, 2009.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; SPERLING, M. V. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444p.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. D.; NETO, S. P. M.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; GASCÓ, A. M.; GASCÓ, J. M.; GUERRERO, F. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.96, n.1, p.125–131, 2005.

JUCOSKI, G. O; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.47, n.4, p.720-728, 2016.

LEI, Y.; KORPELAINEN, H.; CHUNYANG, L. Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting *Populus cathayana* populations. **Chemosphere**. Amsterdam, v.68, n.1, p.686-694, 2007.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; ANDRADE, B. B.; LANA, R. M. Q. Curvas de Disponibilidade de Fósforo em Solos com Diferentes Texturas Após Aplicação de Doses Crescentes de Fosfato Monoamônico. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MAGALHÃES, M. O. L.; SOBRINHO, N. M. B. A.; ZONTA, E.; LIMA, L. S.; PAIVA, F. S. D. Mobilidade de bário em solo tratado com sulfato de bário sob condição de oxidação e redução. **Química Nova**. São Paulo, v.34, n.9, p.1544-1549, 2011.

MARTINEZ, A. A.; GEA, G.; ARAUZO, J.; KERSTEN, S. R. A.; KOOTSTRA, A. M. J. Phosphorus recovery from sewage sludge char ash. **Biomass & Bioenergy**. Amsterdam, v.65, n.1 p.42-50, 2014.

MILLALEO, R.; DÍAZ, M. R.; IVANOV, A. G.; MORA, M. L.; ALBERDI, M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. Temuco, v.10, n.4, p.476-494, 2010.

MTSHALI, J. S.; TIRUNEH, A. T.; FADIRAN, A. O. Characterization of sewage sludge generated from wastewater treatment plants in Swaziland in relation to agricultural uses. **Resources and Environment**. Rosemead, v.4, n.4, p.190-199, 2014.

MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349p.

NASCIMENTO, A. L. **Caracterização microbiológica, química e presença de poluentes orgânicos em amostras de lodo de esgoto de São Paulo**. 2016, 88 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, p.385-392, 2004.

NÓBREGA, R.S.A.; VILAS BOAS, R.C.; NÓBREGA, J.C.A; PAULA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.239-246, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 2002. 171p.

PERS - **Plano estadual de resíduos sólidos do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: SEA / INEA, 2014, 137p.

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S.; MELO, W.J. Lodo de Esgoto como Fertilizante: Produtividade Agrícola e Rentabilidade Econômica. **Nucleus**. Ituverava, v.8, n.1, p.183-191, 2011.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.33, n.73, p.27-36, 2013.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C. V. Lodos de esgoto: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2013, 918 p.

TIRUNEH, A. T.; FADIRAN, A. O.; MTSHALI, J. S. Evaluation of the risk of heavy metal in sewage sludge intended for agricultural application in Swaziland. **International Journal of Environmental Sciences**, v.5, n.1, p.197-216, 2014.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F.; SILVA, A. G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**. Lavras, v.20, n.2, p.293-302, 2014.

TSUTIYA, M. T. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, 113 p.

WHINAM, J.; HOPE, G. S.; CLARKSON, B. R.; BUXTON, R. P.; ALSPACH, P. A.; ADAM, P. *Sphagnum* in peatlands of Australasia: their distribution, utilisation and management. **Wetlands Ecology and Management**. Dordrecht, v.11, n.1, p.37-49, 2003.

ZAPATA, N.; GUERRERO, F.; POLO, A. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de substratos de cultivo. **Agricultura Técnica**, v.65, n.4, p.378-387, 2005.

## **CAPÍTULO II**

### **BIOSSÓLIDO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *CEIBA SPECIOSA***

## RESUMO

O bio-sólido é um resíduo problemático no Brasil e em outros países em desenvolvimento, sendo comum o descarte desse material em aterros sanitários ou lixões a céu aberto. No entanto, os bio-sólidos podem ser reciclados em atividades agrícolas e florestais, considerando seus altos teores de matéria orgânica e nutrientes. Dessa forma, sua aplicação em substratos para produção de mudas florestais pode ser benéfica. O objetivo desse trabalho foi avaliar substratos com diferentes proporções de bio-sólidos e fibra de coco no crescimento e qualidade de mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna, espécie nativa da América do Sul muito utilizada em paisagismo e restauração florestal. Foram estudados substratos com proporções variando entre 25 e 100% de bio-sólido e 0 a 75% de fibra de coco para a produção de mudas em tubetes plásticos com 280 cm<sup>3</sup> de volume. Aos 120 dias após a semeadura, foram medidos o crescimento, biomassa e qualidade das mudas. Em geral, quanto maior a proporção de bio-sólido no substrato, maior foi o crescimento, a biomassa e a qualidade das mudas. Considerando os resultados positivos, bem como a necessidade de reaproveitamento do bio-sólido, é recomendada a utilização de substratos contendo de 50 a 100% de bio-sólido para produzir mudas de *Ceiba speciosa* em tubetes de 280 cm<sup>3</sup>.

**Palavras chave:** lodo de esgoto, fibra de coco, viveiros florestais, resíduos sólidos, restauração florestal

## ABSTRACT

Biosolids is a problematic residual issue in Brazil and other developing countries, where it is common to discard this material in landfills and/or open dumps. However, biosolids can be recycled in agricultural and forestry activities, considering they have high contents of organic matter and nutrients. Therefore, their application in substrates to produce forest seedlings can be beneficial. The scope of this study is to evaluate substrates with different proportions of biosolids and coconut fiber in the growth and quality of seedlings of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna, a native species from South America that is largely used for landscaping and forest restoration. There were studied substrates with proportions varying between 25 to 100% of biosolids and 75 to 0% of coconut fiber to produce seedlings in containers (plastic tubes with 280 cm<sup>3</sup>). At 120 days after sowing, it was measured the growth, biomass and quality of the seedlings. In general aspects, the higher the proportion of biosolids in the substrate, the higher were the growth, biomass and quality of seedlings. The biosolids favored the growth in shoot height and biomass more than in diameter and root biomass. Considering the positive results and the possibility of recycling biosolids, it is recommended the use of substrates containing from 50 to 100% of biosolids to produce *Ceiba speciosa* seedlings in 280 cm<sup>3</sup> plastic tubes.

**Keywords:** sewage sludge, coconut fiber, forest nursery, solid wastes, forest restoration

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão econômica e populacional do Brasil promoveu significativas alterações em ambientes naturais por todo o país, dentre as áreas mais afetadas encontram-se aquelas sob domínio do bioma Mata Atlântica. Segundo estudo da SOS Mata Atlântica e INPE (2018), atualmente o bioma apresenta apenas 12,4% de sua cobertura florestal original, sendo necessárias ações concretas para sua conservação e restauração. Neste contexto, o plantio de mudas tem sido a técnica de formação dos povoamentos para restauração florestal mais utilizada no Brasil (MORAES et al, 2013; KLIPPEL et al., 2015). Considerando a demanda proveniente da Mata Atlântica, há necessidade de produção de mudas em grande quantidade e com qualidade suficiente para sobreviver às condições adversas após plantio em campo.

Mudas de espécies florestais podem ser produzidas no sistema de raiz nua ou em recipientes, em países tropicais e para espécies folhosas a produção em recipiente é mais comum (CARNEIRO, 1995). A produção de mudas florestais em recipientes, como sacos plásticos e tubetes, demanda a elaboração de um substrato, sendo necessário que o mesmo possua características físicas e químicas adequadas para formação de mudas de qualidade e que seus componentes sejam disponíveis localmente e tenham baixo custo de aquisição (CARNEIRO, 1995; GOMES e PAIVA, 2006).

A gestão de resíduos sólidos urbanos, bem como a deficiência no saneamento básico, são problemas ambientais recorrentes nas cidades brasileiras. Abrangendo ambas questões, existe a necessidade de gerenciamento do resíduo sólido decorrente do tratamento de esgoto, o lodo de esgoto, que no Brasil tem como destino comum o descarte em aterros sanitários, aumentando a pressão existente sob os aterros de regiões metropolitanas (ABREU et al., 2017). Embora os índices de tratamento de esgoto ainda sejam baixos no país, as crescentes exigências da sociedade e de diversas esferas do poder público, indicam uma perspectiva de aumento significativo do esgoto tratado e, por consequência, da produção de lodo (ANDREOLI et al., 2014).

Quando tratado e estabilizado, o lodo de esgoto passa a ser denominado como biossólido, desde que apresente características químicas e biológicas compatíveis com sua utilização produtiva (ANDREOLI et al., 2014). Devido aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes em sua composição, o biossólido pode ser reciclado por meio da aplicação em áreas agrícolas e florestais, o que consiste em uma destinação mais sustentável do ponto de vista ambiental em comparação com o descarte em aterro sanitário (ABREU et al., 2017).

Como uma forma de reaproveitamento do biossólido em atividade florestal, sua aplicação na composição de substratos para produção de mudas florestais nativas da Mata Atlântica tem se mostrado viável (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014; CABREIRA et al., 2017). Para a aplicação do biossólido no substrato, torna-se necessário conhecer as características físicas e químicas de cada lote do material, de acordo com as quais deve-se testar e determinar em que proporções o biossólido pode ser aplicado, visando maior crescimento e qualidade das mudas florestais produzidas.

A *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna, conhecida no Brasil como paineira, como palo borracho em outros países da América do Sul e como silk floss tree em inglês, é uma espécie arbórea decídua, nativa da Mata Atlântica, largamente utilizada na restauração florestal e em projetos de paisagismo, considerando o seu tronco característico, o formato de sua copa e a beleza da sua floração (CARVALHO, 2003).

Objetivou-se neste trabalho avaliar substratos com diferentes proporções de biossólido de lodo de esgoto e fibra de coco no crescimento e qualidade de mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, de junho a novembro de 2016. A espécie utilizada foi a *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna, popularmente conhecida como paineira. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima local é do tipo Aw, que significa tropical com inverno seco e verão chuvoso. De acordo com os dados dos últimos 20 anos da estação climática da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RJ), a precipitação média anual é de 1.245 mm, com período seco em junho, julho e agosto e excesso hídrico em dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média anual é de 23,7°C, fevereiro é o mês mais quente com média de 27,0°C e julho é o mais frio com média de 20,6°C. O tempo médio de insolação é de 2.527 horas por ano, a evaporação média anual é de 1.576 mm e a umidade relativa do ar tem média anual de 69%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo testados quatro tratamentos, com quatro repetições e doze mudas por parcela. Os substratos, que constituem os tratamentos, foram compostos por biossólido de lodo de esgoto e fibra de coco em diferentes proporções: T1: 25% de biossólido (BIO) e 75% de fibra de coco (FC); T2: 50% BIO e 50% FC; T3: 75% BIO e 25% FC; e T4: 100% BIO.

A fibra de coco utilizada na composição dos substratos foi comprada localmente no varejo. Antes de sua comercialização, a fibra foi lavada, visando reduzir a salinidade, que em geral é alta nesse material e pode ser problemática.

O biossólido utilizado no experimento foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE), sendo proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Alegria, localizada no bairro do Caju, cidade do Rio de Janeiro – RJ. Essa ETE realiza tratamento de esgoto a nível secundário pelo sistema de lodos ativados. O esgoto tratado é proveniente de área urbana e residencial, sendo que o lodo utilizado no experimento foi submetido a adensamento por centrífugas, a estabilização em digestor anaeróbio e a secagem em leitos semipermeáveis, onde permaneceu a pleno sol por aproximadamente 90 dias até atingir umidade abaixo de 30%.

O biossólido utilizado foi testado de acordo com o que preconiza a Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006), que determina que todo lote deve ser avaliado quanto ao seu teor de metais pesados (Tabela 1) e indicadores microbiológicos (Tabela 2). Todos os teores de metais pesados e microorganismos se encontravam abaixo dos níveis requeridos pela legislação.

Tabela 1: Teores de metais pesados no biossólido da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação com o máximo permitido na Resolução CONAMA nº 375/2006

	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----										
CONAMA	41	1300	39	300	1500	1000	17	50	420	100	2800
ETE Alegria	<2,6	157	<0,2	197	267	70	<0,03	22,6	40,2	<5,9	681

Tabela 2: Concentração de microrganismos patógenos no biossólido da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação com o máximo permitido na Resolução CONAMA nº 375/2006

Parâmetro	Unidade	CONAMA	ETE Alegria
-----------	---------	--------	-------------



Coliformes termotolerantes	NMP g <sup>-1</sup>	< 1000	< 0,04
Ovos viáveis de helmintos	Ovos g <sup>-1</sup>	< 0,25	< 0,01
<i>Salmonella</i> sp.	Presente/ausente em 10g	Ausente	Ausente

NMP: número mais provável

Após a montagem do experimento foram coletadas amostras do substrato de cada tratamento, as quais foram enviadas para análise química para determinar o nitrogênio total pelo método de Kjeldahl, os teores disponíveis de macronutrientes (P, K, Ca e Mg), a capacidade de troca catiônica e o teor de matéria orgânica, de acordo com as metodologias presente em Embrapa (2009).

Para determinação das características físicas dos substratos, foram utilizados dez tubetes de 56 cm<sup>3</sup>, cada um constituindo uma repetição. Os tubetes foram submetidos à saturação com água, após a qual se procedeu com a primeira pesagem (saturado). Após 1 hora de drenagem com o fundo livre e 12 horas com o fundo parcialmente bloqueado, os tubetes foram encaminhados para a segunda pesagem (drenado). O substrato drenado foi transferido para cápsulas de alumínio, que secaram em estufa a 65°C por 96 horas, após a qual se realizou a terceira pesagem (seco). Com as medidas obtidas nas diferentes condições, foram calculados densidade, capacidade de retenção de água, micro, macro e porosidade total.

Na produção das mudas foram utilizados como recipientes tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, preenchidos com os substratos correspondentes a cada tratamento, sendo a semeadura realizada diretamente nos recipientes. Aos 45 dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam aproximadamente 15 cm de altura, foi realizado reespaçamento das mesmas nas bandejas, que ficaram com uma densidade de 50%, diminuindo assim a competição por luz e facilitando a chegada de água da irrigação até o substrato. Todo o processo de produção das mudas foi realizado a pleno sol. A irrigação foi realizada por meio de aspersores uma ou duas vezes ao dia, sendo que em dias de chuva, não houve irrigação. Nos últimos 15 dias, quando necessário, irrigou-se uma vez ao dia, sempre ao final da tarde, para rustificação das mudas.

A altura da parte aérea (H) e o diâmetro do coleto (D) das mudas foram mensurados mensalmente, dos 30 até os 120 dias após a semeadura, com auxílio de régua graduada (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente. Após as últimas medições, foram selecionadas as quatro mudas mais próximas da altura média de cada repetição (16 mudas por tratamento), para avaliação da biomassa. Dessa forma, a parte aérea e o sistema radicular das mudas foram separados, acondicionados em sacos de papel identificados e levados para estufa de circulação forçada de ar, onde permaneceram a 65°C, durante 72 horas. Em seguida, foram pesadas para determinação da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), da massa de matéria seca de raiz (MSR) e por soma de ambas, da massa de matéria seca total (MST).

A partir dos dados obtidos foram calculados os seguintes parâmetros de qualidade: relação altura / diâmetro (H/D); relação altura / massa de matéria seca da parte aérea (H/MSPA); relação massa de matéria seca da parte aérea / massa de matéria seca de raiz (MSPA/MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Após a pesagem da matéria seca, a parte aérea das quatro plantas de cada repetição foram moídas em moinho de facas e reunidas para formar uma amostra composta para cada repetição. O material foi identificado, colocado em recipientes plásticos cobertos e enviados para análise de macronutrientes. Foram avaliados os teores de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos vegetais da parte aérea de acordo com metodologia proposta em Embrapa (2009).

A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Lilliefors e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran para cada um dos parâmetros avaliados. Não houve

necessidade de transformação dos dados. Análises de regressão foram realizadas entre o tempo de produção das mudas e altura das plantas, bem como entre o tempo de produção das mudas e o diâmetro. Os dados de todas as variáveis mensuradas aos 120 dias após a semeadura foram submetidos à análise de variância e, havendo significância, a comparação entre eles foi realizada por meio do teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para todas as análises foi utilizado o *software* Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG, 2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de macronutrientes nos substratos aumentaram com proporções crescentes de biossólidos, exceto para o K, como pode ser observado na Tabela 3. O pH apresentou valores semelhantes nos diferentes tratamentos, enquanto a matéria orgânica diminuiu e a capacidade de troca catiônica (CTC) aumentou nas maiores proporções de biossólido no substrato.

Tabela 3: Características químicas de substratos formados por biossólido (BIO) e fibra de coco (FC) utilizados para o crescimento de mudas de *Ceiba speciosa*

Trat. (BIO%:FC%)	pH	N %	P ----- mg dm <sup>-3</sup> -----	K -----	Ca ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Mg	CTC	MO g kg <sup>-1</sup>
25:75	5,05	1,30	366	687	58	29	152	531
50:50	5,12	1,47	602	448	91	38	209	435
75:25	5,10	1,87	636	279	141	50	270	448
100:0	5,11	2,26	752	155	202	79	367	377

A incorporação de biossólido geralmente aumenta o teor de macronutrientes dos substratos, conforme observado no presente estudo, bem como por Guerrini e Trigueiro (2004), Ribeiro et al. (2009), Faria et al. (2013), dentre outros autores. A única exceção é para o potássio, que apresenta baixos teores nos biossólidos, tendo em vista que o elemento permanece dissolvido no efluente resultante do tratamento de esgoto (BETTIOL e CAMARGO, 2006). O principal motivo para misturar o biossólido com a fibra de coco no presente trabalho foi o fornecimento de K para o substrato, o que de fato ocorreu e pode ser observado nos tratamentos com 50:50 e 75:25 de biossólido e fibra de coco.

Como verificado na Tabela 4, quanto maior a proporção de biossólido, maior foi a densidade dos substratos. Os resultados para macro e porosidade total foram um pouco maiores em substrato com 100% de biossólidos e similar nos demais tratamentos. Para microporosidade e capacidade de retenção de água os resultados foram similares para todos os tratamentos.

Tabela 4: Características físicas de substratos formados por biossólido (BIO) e fibra de coco (FC) utilizados para o crescimento de mudas de *Ceiba speciosa*

Trat. (BIO%:FC%)	Densidade g cm <sup>-3</sup>	MAP -----	MIP % -----	PT	CRA ml 50cm <sup>-3</sup>
25:75	0,14	27,5	44,3	71,8	22,1
50:50	0,15	27,6	44,8	72,4	22,4
75:25	0,22	27,8	45,0	72,8	21,1
100:00	0,24	29,9	45,2	75,1	21,7

MAP: macroporosidade; MIP: microporosidade; PT: porosidade total; CRA: capacidade de retenção de água.

Todos os tratamentos apresentaram características físicas semelhantes, com exceção da densidade, que foi maior de acordo com aumento da proporção de biossólido no substrato. O mesmo padrão foi observado para densidade por Guerrini e Trigueiro (2004), no entanto os autores verificaram também que a adição de biossólido no substrato resultava em aumento na microporosidade e capacidade de retenção de água, bem como diminuição da macroporosidade, aeração e capacidade de drenagem. Tais resultados podem ser explicados pelos materiais misturados ao biossólido em cada estudo, já que Guerrini e Trigueiro (2004) utilizaram casca de arroz carbonizada e o presente estudo fibra de coco. A redução da densidade e melhoria da drenagem dos substratos foram alguns dos motivos que levaram a mistura de fibra de coco ao biossólido no presente trabalho. Os resultados demonstram que houve redução da densidade, mas não a melhoria da drenagem, considerando que todos os tratamentos demonstraram valores semelhantes de macroporosidade.

Como pode ser verificado na Figura 1, o crescimento em altura da parte aérea e diâmetro de colo apresentaram padrão de crescimento linear ao longo do tempo de avaliação das mudas no viveiro. Para altura foi observado que as mudas produzidas em substratos com maiores proporções de biossólidos demonstraram tendência de maior crescimento desde a primeira medição, aos 30 dias após a semeadura, o que foi mantido até a última medição aos 120 dias.

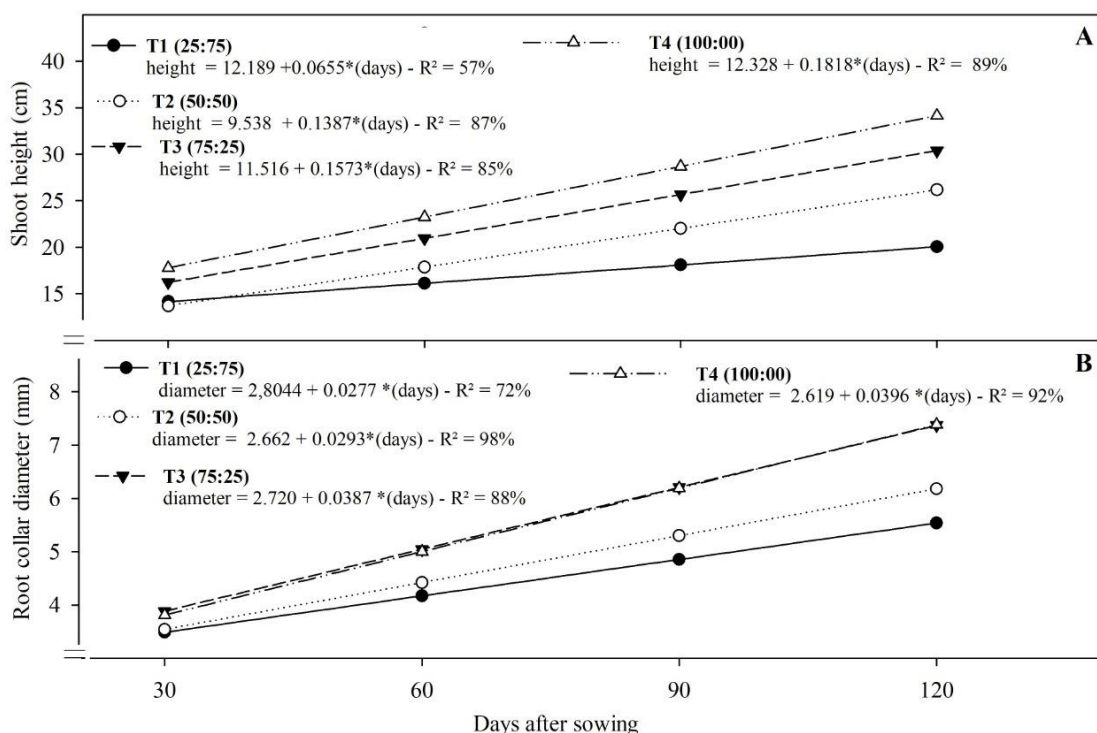


Figura 1: Crescimento em altura da parte aérea e diâmetro do colo de mudas de *Ceiba speciosa* produzidas em substratos com diferentes proporções de biossólidos e fibra de coco de 30 até 120 dias após a semeadura. Fonte: Alonso et al. (2018).

A altura da parte aérea está entre os principais parâmetros observados para avaliar se mudas florestais estão ou não prontas para plantio em campo (CARNEIRO, 1995). Segundo Moraes et al. (2013), mudas florestais nativas estão prontas para plantio ao atingirem 25 a 30 cm de altura da parte aérea, desde que devidamente rusticada. No presente trabalho, aos 120

dias após a semeadura, apenas as mudas do T1 não atingiram o valor mínimo de 25 cm de altura sugerido pela recomendação técnica.

No estado do Rio de Janeiro, segundo o Art. 8º, item 4.1, da Resolução do Instituto Estadual do Ambiente nº 89/2014 (INEA, 2014), a muda deverá ter altura mínima de 60 cm para plantio em restauração florestal (ou reposição florestal, termo que consta na resolução). Quanto ao valor mínimo exigido pela legislação do estado do Rio de Janeiro, nenhum tratamento atingiu o crescimento necessário.

Estudos com plantio de mudas florestais nativas realizados no estado do Rio de Janeiro, como o de Keller et al. (2009), mostraram sobrevivência acima de 90% aos 60 dias após o plantio de mudas produzidas em diferentes recipientes, sendo que para *Inga marginata* as médias de altura antes do plantio variavam entre 23,7 e 29,1 cm e para *Zeyheria tuberculosa* entre 13,7 e 17,6 cm. Para mudas de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em sacos plásticos de 9 x 20 cm e tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, Abreu et al. (2015) observaram média de altura no momento do plantio de 28,3 cm para o tubete e 73,3 cm para o saco plástico, sendo que em ambos tratamentos a sobrevivência em campo foi de 100%, aos cinco meses após o plantio. Cabreira et al. (2017) observaram que mudas de *Ceiba speciosa* produzidas em sacos plásticos de 9 x 20 cm, usando bio sólido na proporção volumétrica de 80, 40 e 20% produziram mudas com média de altura da parte aérea, respectivamente, em torno de 43, 40 e 23 cm e aos cinco meses após plantio, a sobrevivência foi de 100%, independente da proporção de bio sólido que foi produzido e da altura da muda no momento no plantio de campo.

Tais resultados sugerem ser viável, para fins de restauração da Mata Atlântica, o plantio de mudas menores que 60 cm de altura e dentro dos valores recomendados por Moraes et al. (2013). Deve-se ressaltar que, ao contrário do que consta na Resolução INEA nº 89/2014 (INEA, 2014), a altura não deve ser utilizada de forma isolada como indicativo de qualidade ou de que as mudas estão prontas para plantio, mas sim em conjunto com outros parâmetros (DAVIDE et al., 2015).

O crescimento em diâmetro de colo foi similar em todos os tratamentos durante a primeira medição, aos 30 dias após a semeadura (Figura 1). Da segunda medição, aos 60 dias após a semeadura, até o final do experimento foi observada tendência de maior diâmetro em tratamentos compostos por 75% ou mais bio sólido.

O diâmetro de colo é considerado uma medida de vigor e robustez das mudas, estando relacionado ao seu crescimento após o plantio, bem como sua resistência a condições climáticas adversas, como calor e estiagem (CARNEIRO, 1995; GROSSNICKLE, 2012; GROSSNICKLE e MACDONALD, 2018). No trabalho de Tsakalidimi et al. (2013), o diâmetro foi a variável morfológica mais precisa para avaliar a sobrevivência das mudas após o plantio. Gonçalves et al. (2000) indica que valores de 5 a 10 mm seriam adequados para mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica. Considerando essa recomendação, todos os tratamentos avaliados produziram mudas adequadas para o plantio em campo.

Ao final do experimento, 120 dias após a semeadura, foi observada diferença significativa entre os tratamentos, em geral, as mudas apresentaram maior crescimento e biomassa em substratos com maiores proporções de bio sólidos (Tabela 5). As médias de altura (H), diâmetro (D), biomassa da parte aérea (MSPA) e total (MST) foram maiores nos tratamentos com mais bio sólido (75 e 100%). Para MSR, o tratamento com 25% de bio sólido foi inferior e os demais não diferiram entre si. Para biomassa de raízes (MSR), o tratamento com 25% de bio sólido foi inferior e os demais não diferiram.

Tabela 5: Média e desvio padrão (em parênteses) da altura (H), diâmetro (D), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) e total (MST) de mudas de *Ceiba*

*speciosa*, aos 120 dias após a semeadura, produzidas em substratos com diferentes proporções de biossólido e fibra de coco

Tratamento (BIO%:FC%)	H (cm)	D (mm)	MSPA	MSR g	MST
25:75	20,9 c (2,98)	5,6 b (0,62)	2,03 c (0,35)	1,28 b (0,45)	3,31 c (0,79)
50:50	27,1 bc (3,21)	6,1 b (0,17)	3,72 b (0,34)	2,03 a (0,26)	5,75 bc (0,27)
75:25	31,6 ab (3,61)	7,1 a (0,83)	4,98 a (1,01)	2,60 a (1,54)	7,58 ab (2,12)
100:00	34,4 a (2,60)	7,2 a (0,28)	5,54 a (0,27)	2,83 a (0,44)	8,37 a (0,67)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,95$ ).

Tanto para a altura quanto para o diâmetro, a adição de biossólido no substrato em proporções de 50 até 100% apresentou resultados superiores para o crescimento das mudas. As recomendações de aplicação de biossólido em substrato para produção de mudas de espécies florestais nativas são variáveis. No trabalho de Kratz et al. (2015), apenas pequenas proporções (10 a 20%) de biossólido no substrato se mostraram viáveis para a produção de mudas de *Mimosa scabrella*. Outros trabalhos recomendam proporções em torno de 40 a 80% para diferentes espécies (CALDEIRA et al., 2012b; FARIA, et al., 2013; DELARMELINA et al., 2014; TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014). No presente trabalho os melhores resultados foram observados em substratos com proporções de 75% e 100% de biossólido.

Os resultados do presente e de outros experimentos indicam que a proporção ideal de biossólido no substrato pode variar, dentre outros fatores, com as exigências e características de cada espécie florestal. De maneira geral, pode-se produzir mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica em tubetes, com proporções de biossólido variando entre 50 a 100%, dando um fim mais nobre a este resíduo em comparação à disposição em aterros sanitários.

É necessário considerar que as características químicas e físicas dos biossólidos também são fatores determinantes na proporção em que o material pode ser utilizado como substrato. A ocorrência de salinidade e a presença de elementos tóxicos às plantas, bem como a alta densidade e baixa porosidade, podem restringir ou mesmo inviabilizar a aplicação do biossólido como substrato para produção de mudas florestais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; MAÑAS et al., 2009; RIBEIRO et al.; 2009; KRATKA e CORREIA; 2015). As características do biossólido são variáveis de acordo com a época de coleta, o tratamento de esgoto realizado em cada ETE, os processos pelos quais o lodo é submetido dentro e fora das ETEs, a forma e tempo de estocagem, dentre outros fatores (ANDREOLI et al., 2014; ABREU et al.; 2017).

Em relação às características físicas, a agregação das raízes ao substrato e a facilidade de retirada das mudas do recipiente também devem ser consideradas. Trigueiro e Guerrini (2003) constataram que, para mudas de *Eucalyptus grandis*, a agregação das raízes apresentou piores resultados em substratos com maiores proporções de biossólido (60 e 80%), resultados similares foram observados por Kratz et al. (2015) para *Mimosa scabrella*. Na proporção de 80% de biossólido, Trigueiro e Guerrini (2003) também observaram que a retirada das mudas do recipiente foi prejudicada. No presente estudo, tais parâmetros não foram avaliados, mas considerando as observações realizadas ao longo do experimento, mesmo no substrato com 100% de biossólido, a agregação das raízes e facilidade de retirada do recipiente foi adequada. Corroborando com o presente trabalho, Siqueira et al. (2018) observou a mesma agregação em substrato comercial e em substrato com 100% de biossólido para mudas de *Lafoensia glyptocarpa*.

Com base nos resultados de crescimento (Figuras 1 e Tabela 5) e biomassa das mudas (Tabela 5), bem como das características químicas (Tabela 3) e físicas (Tabela 4) dos substratos avaliados, é possível afirmar que o tratamento de esgoto de áreas residenciais e comerciais, pelo sistema de lodos ativados, seguido da digestão anaeróbia do lodo e da secagem em leitos ao ar livre, resulta em um biossólido com boa aptidão física e química para utilização na produção de mudas florestais.

O maior investimento em biomassa da parte aérea nas mudas produzidas em substratos com maiores proporções de biossólido era esperado considerando os resultados verificados para crescimento em altura e diâmetro. O investimento das plantas em biomassa da parte aérea foi maior do que para biomassa de raízes, o que foi ainda mais evidente em substratos com maiores proporções de biossólidos. Tal fato pode ser atribuído ao maior teor de nutrientes, principalmente N e P, nesses substratos. A importância desses nutrientes para o arranque e crescimento inicial da parte aérea das mudas é mencionada por Faria et al. (2013), que verificaram maior crescimento de *Senna alata* em substrato com 80% de biossólido e 20% de fibra de coco, resultado que foi atribuído ao maior teor de N e P observados nesse substrato.

Considerando os dados apresentados na Tabela 6, o teor de macronutrientes nos tecidos da parte aérea das plantas não diferiu entre os tratamentos. A única exceção foi para o Ca, que apresentou maiores valores no substrato 75:25 (biossólido : fibra de coco) em comparação com os substratos 50:50 e 100:00. Embora não significativo, o teor médio de N e P na parte aérea das mudas aumentou conforme as proporções crescentes de biossólido no substrato, para K ele diminuiu e para Mg não foi observado um padrão.

Tabela 6: Média e desvio padrão (em parênteses) do teor de macronutrientes na parte aérea das mudas de *Ceiba speciosa*, aos 120 dias após a semeadura, produzidas com diferentes proporções de biossólido e fibra de coco

Tratamentos (BIO%:FC%)	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
25:75	17,4 ns (1,72)	1,5 ns (0,11)	17,5 ns (0,30)	39,3 ab (3,67)	4,0 ns (0,39)
50:50	16,7 ns (1,32)	1,7 ns (0,30)	16,0 ns (0,41)	35,9 b (4,32)	4,9 ns (0,70)
75:25	18,1 ns (2,71)	2,2 ns (0,61)	16,2 ns (0,26)	47,2 a (4,60)	4,5 ns (0,37)
100:00	19,8 ns (3,11)	2,2 ns (0,30)	16,9 ns (0,10)	34,4 b (4,99)	4,9 ns (0,46)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p > 0,95) e “ns” indica não significativo.

O teor médio de nutrientes seguiu a ordem Ca > N > K > Mg > P, tal padrão foi observado para todos os substratos, com exceção do 25:75.

Foram observadas diferenças entre os substratos para os macronutrientes acumulados na parte aérea das mudas. Em geral, o acúmulo aumentou de acordo com a proporção de biossólido para todos nutrientes, com exceção do Ca, que apresentou maior acúmulo no tratamento 75:25 (Tabela 7). O substrato com menor proporção de biossólido (25:75) apresentou menores valores para todos os macronutrientes avaliados.

Tabela 7: Média e desvio padrão (em parênteses) do acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas de *Ceiba speciosa*, aos 120 dias após a semeadura, produzidas com diferentes proporções de bio sólido e fibra de coco

Tratamentos (BIO%:FC%)	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg muda <sup>-1</sup> -----				
25:75	35,2 c (3,50)	3,0 b (0,23)	35,5 c (6,07)	79,9 d (7,45)	8,2 c (0,79)
50:50	62,3 b (4,91)	6,5 b (1,11)	59,7 b (15,44)	133,6 c (16,08)	18,4 b (2,62)
75:25	90,4 b (13,50)	11,0 a (3,06)	81,0 ab (13,00)	235,4 a (22,95)	22,2 b (1,86)
100:00	109,7 a (17,25)	12,2 a (1,65)	93,8 a (5,76)	190,6 b (27,65)	27,1 a (2,57)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p > 0,95) e “ns” indica não significativo.

Apesar do teor de N e P na parte aérea das mudas de *C. speciosa* ter sido similar em todos os tratamentos, o acúmulo desses nutrientes foi maior nas mudas produzidas com maiores quantidades de bio sólido no substrato. Esse resultado pode ser justificado pela maior quantidade de nutrientes nos substratos com maiores proporções de bio sólido, o que também resultou em maior crescimento e biomassa das mudas neles produzidas. Resultados similares foram observados por Scheer et al. (2012), comparando dois compostos produzidos a partir de bio sólido e restos de poda com um substrato comercial, os autores observaram maiores teores de macro e micronutrientes em substratos contendo bio sólido, resultando em maior acúmulo de N, P e K na biomassa das folhas, bem como maior crescimento de mudas de *Lafoensia pacari*.

A concentração de K em bio sólidos em geral é baixa, considerando que por ser altamente solúvel, esse elemento permanece solubilizado no efluente tratado (ANDREOLI et al., 2014). A fibra de coco possui elevados teores de K e o bio sólido de N e P (Tabela 1), dessa forma, era esperado que a mistura desses materiais resultaria em um substrato com melhores características químicas. No entanto, os teores de K no tecido das plantas foi similar em todos os tratamentos, sugerindo que o conteúdo desse nutriente no bio sólido seria suficiente para suprir a demanda de mudas de *C. speciosa*, dispensando a realização de fertilização complementar.

Em relação a qualidade das mudas de *C. speciosa* os resultados foram semelhantes aos observados para crescimento e biomassa (Tabela 8). Considerando todos os parâmetros avaliados, de modo geral, as mudas apresentaram maior qualidade em substratos com maiores proporções de bio sólido.

Tabela 8: Média e desvio padrão (em parênteses) da relação altura e diâmetro (H/D), da relação altura e biomassa da parte aérea (H/MSPA), biomassa da parte aérea e raiz (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Ceiba speciosa*, aos 120 dias após a semeadura, produzidas com diferentes proporções de bio sólido e fibra de coco

Tratamentos (BIO%:FC%)	H/D	H/MSPA	MSPA/MSR	IQD
25:75	3,74 b (0,12)	10,33 a (0,64)	1,66 b (0,28)	0,62 b (0,16)
50:50	4,42 a (0,47)	7,34 b (1,10)	1,87 a (0,36)	0,92 b (0,05)
75:25	4,38 a (0,11)	6,41 b (0,68)	2,45 a (1,54)	1,16 ab (0,49)
100:00	4,76 a (0,18)	6,22 b (0,53)	1,98 a (0,22)	1,25 a (0,16)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,95$ ).

Quanto maior a proporção de biossólido no substrato, maior foi o valor observado para H/D, sendo que houve diferença significativa apenas para o tratamento 25:75, onde a média foi menor que nos demais tratamentos. A relação entre altura e diâmetro (H/D), também chamada de índice ou quociente de robustez, representa o quanto a muda cresceu em altura (cm) em relação ao seu crescimento em diâmetro (mm) (GOMES e PAIVA, 2006). Valores altos da relação H/D indicam o estiolamento da muda, comprometendo sua qualidade (CARNEIRO, 1995). É recomendado para mudas de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. que os valores da relação H/D se encontrem entre 5,4 e 8,1 (CARNEIRO, 1995), enquanto para mudas nativas não há um valor de referência estabelecido.

Os valores de H/D observados para a paineira no presente trabalho foram abaixo do mínimo recomendado de 5,4 em todos os tratamentos. Os valores também podem ser considerados baixos quando comparados com os observados para outras espécies nativas (ABREU et al., 2015; DELARMELINA et al., 2014; KELLER et al., 2009; CALDEIRA et al., 2008). Esse resultado pode ser explicado pelo peculiar engrossamento do caule próximo à base, evidente em indivíduos adultos e observado em menor grau nas mudas em viveiro, característica que rende à espécie nomes populares como barriguda ou barriga d'água (CARVALHO, 2003). Considerando tal aspecto, os resultados para H/D sugerem que todos os tratamentos produziram mudas de boa qualidade, com melhores resultados em substratos com maiores proporções de biossólido.

Em contraste com H/D, a relação H/MSPA foi maior nos substratos com maiores proporções de biossólido. Foi observada diferença significativa apenas para o tratamento 25:75 que apresentou média maior que os demais. Para o parâmetro H/MSPA valores altos indicam crescimento sem acúmulo de biomassa, o que pode ocorrer devido ao estiolamento das mudas e ou menor produção de folhas, que indica menor potencial fotossintético. Quanto menor for o valor encontrado para essa relação, maior é considerada a qualidade das mudas produzidas (GOMES e PAIVA, 2006), sendo assim, as maiores proporções de biossólido no substrato resultaram em mudas de paineira de melhor qualidade.

Para a relação parte aérea e raiz (MSPA/MSR), maiores valores foram observados em substratos com maiores proporções de biossólidos. Foi observada diferença significativa apenas para o tratamento 25:75 que foi inferior aos demais. A distribuição da biomassa na muda pode ser representada pela relação MSPA/MSR, tal parâmetro tem ligação com o balanço de água nas mudas, sendo que altos valores podem indicar mudas sujeitas a estresse hídrico, devido à desigualdade entre a superfície de transpiração da planta (parte aérea) e sua capacidade de absorver água (GROSSNICKLE, 2012). Valores muito baixos podem indicar desenvolvimento foliar deficiente, influenciando negativamente na fotossíntese (MAÑAS et al., 2009). Caldeira et al. (2008) e Gomes e Paiva (2006) recomendam valores de MSPA/MSR em torno de 2,0 para mudas de boa qualidade. No presente estudo verificou-se que o substrato contendo 100% de biossólido foi o que apresentou valor mais próximo do recomendado, podendo ser considerado o tratamento que proporcionou maior qualidade para as mudas de paineira no parâmetro MSPA/MSR.

Nos substratos com 25 e 50% de biossólido os valores de MSPA/MSR ficaram abaixo do indicado na literatura (2,0), indicando maior proporção de raiz na biomassa total das mudas desses tratamentos.

Os resultados para índice de qualidade de Dickson (IQD) seguiram o mesmo padrão observado para os demais parâmetros de qualidade, onde substratos com maiores proporções de biossólido apresentaram melhor resultado. O IQD é calculado a partir das variáveis mais importantes utilizadas na avaliação de mudas florestais (altura, diâmetro, biomassa da parte



aérea e de raízes). Quanto maior o seu valor, mais equilibrado está o crescimento da muda e maior pode ser considerada a sua qualidade (CARNEIRO, 1995). Para mudas de espécies utilizadas na silvicultura econômica, é recomendado que o IQD seja superior a 0,2 (CARNEIRO, 1995; GOMES e PAIVA, 2006). Para espécies da Mata Atlântica e de outros biomas brasileiros, poucos são os dados existentes, sendo necessárias pesquisas para calibrar os valores desse parâmetro para as diferentes espécies.

Os valores de IQD observados para as mudas de *C. speciosa* no presente estudo foram menores que os de outros trabalhos, como o de Cabreira et al. (2017), que avaliaram a produção em saco plástico e plantio em campo de mudas de paineira com 120 dias de idade, verificando IQD entre 1,35 e 1,84 e sobrevivência entre 95 e 100% aos cinco meses após o plantio. Em recipientes maiores as mudas tendem a apresentar maior crescimento e, em consequência, maiores valores de IQD, conforme observado por Leles et al. (2006) para quatro espécies florestais nativas, dentre elas a *C. speciosa*, que apresentou valores de IQD de 1,80; 2,36; 4,05; e 3,54 respectivamente para os tubetes de 56; 115; 180; 280 cm<sup>3</sup>, aos 180 dias de idade. Apesar de Cabreira et al. (2017) terem produzido as mudas em recipiente maior do que os testados por Leles et al. (2006), os primeiros autores observaram menores valores para o IQD. Tal resultado pode ser explicado pelo tempo que as mudas permaneceram no viveiro em cada estudo, Cabreira et al. (2017) produziram as mudas em 120 dias, enquanto em Leles et al. (2006) foram 180 dias em viveiro, ou seja, 60 dias a mais que o experimento de Cabreira et al. (2017) e que o presente estudo.

Considerando que, entre outros fatores, as características morfológicas de mudas florestais podem variar de acordo com o recipiente, substratos, fertilização, irrigação e idade das mudas (DAVIDE et al., 2015), as diferenças entre os resultados do presente e dos demais estudos podem ser justificadas. É possível inferir que com mais tempo em viveiro as mudas do presente trabalho teriam atingido valores mais altos de IQD, provavelmente próximos aos de Cabreira et al. (2017) e Leles et al. (2006). No entanto, acredita-se que aos 120 dias as mudas do presente trabalho estariam com qualidade suficiente para plantio. A qualidade de mudas florestais deve ser aferida com base em um conjunto de parâmetros, não apenas um (CARNEIRO, 1995; DAVIDE et al., 2015). Além disso, os valores ideais de IQD, bem como de outros parâmetros, podem variar de acordo com a espécie produzida, as técnicas utilizadas no viveiro, a qualidade do sítio onde será realizado o plantio, a época de plantio, dentre outros fatores (CARNEIRO, 1995; CALDEIRA et al., 2012). Não foram encontrados para comparação estudos em que mudas de paineira com IQD igual ou menor aos observados no presente trabalho foram plantadas em campo para aferir crescimento e sobrevivência, o que confirma a necessidade de estudos avaliando a utilização desse e de outros parâmetros na aferição de qualidade de mudas florestais nativas.

#### 4. CONCLUSÃO

Maiores proporções de bio sólido no substrato resultaram em maior crescimento e qualidade das mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna. Considerando todos os parâmetros avaliados, as mudas de paineira produzidas em substrato composto por 50 a 100% de bio sólido, aos 120 dias após a semeadura e em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> atingiram qualidade suficiente para plantio em campo.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.38, n. 4, p. 2433-2448, 2017.

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; FERREIRA, D. H. A. A.; MONTEIRO, F. A. S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, v.45, n.1, p.141-150, 2015.

ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; CABREIRA, G. V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. **Cerne**, Lavras, v.24, n.4, p.420-429, 2018.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 ago 2006, n. 167, p. 141-146.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v.47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioveana* Baill). **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 015-022, 2012.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

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

CARVALHO, C. M.; SILVA, C. R. **Determinação das propriedades físicas de substrato**. Notas de aulas práticas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1992. 6p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras, Volume 1**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

DAVIDE, A. C.; MELO, L. A.; TEIXEIRA, L. A. F.; PRADO, N. J. S.; FIORINE, R. A.; CARVALHO, R. P. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: Editora UFLA, 2015. 636p.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LACERDA, L. C.; GONÇALVES, E. O. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**, v.4, n.4, p.342-351, 2013.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 116 p.

GONÇALVES, J. L. M., SANTERELLI, E. G., NETO, S. P. M., MANARA, M. P. 2000. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves, J.L.M., Benedetti, V. **Nutrição e fertilização florestal**. ESALQ/USP, Piracicaba, Brasil. p. 309- 350.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plants attributes. **New Forests**, v.43, p. 711-738, 2012.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Resolução nº 89/2014. Dispõe sobre as proporções mínimas aplicáveis para reposição florestal, decorrentes do corte ou supressão de vegetação pertencente às formações florestais nativas e ecossistemas associados do Bioma Mata Atlântica, bem como de intervenções em Áreas de Preservação Permanente - APP, para fins de Licenciamento Ambiental e/ou de Autorização para Supressão de Vegetação Nativa - ASV no Estado do Rio de Janeiro. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 05 jun 2014, n. 101, p. 22-24.

KELLER, L.; LELES, P.S.S; OLIVEIRA NETO, S.N.; COUTINHO, R.P.; NASCIMENTO, D.F. Sistema de blocos prensados na produção de mudas de espécies arbóreas. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.305-314, 2009.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; SILVA, G. F.; CALDEIRA, M. V. W.; PIMENTA, L. R.; TOLEDO, J. V. Avaliação de métodos de restauração florestal de mata de tabuleiros – ES. **Revista Árvore**, v.39, n.1, p.69-79, 2015.

KRATKA, P. C.; CORREIA, C. R. M. A. Crescimento inicial de aroeira do sertão (*Myracrodroun urundeuva* Allemão) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v.39, n.3, p.551-559, 2015.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis para produção de mudas de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 393-408, 2015.

LELES, P. S. S.; LISBOA, A. C.; OLIVEIRA NETO, S. N.; GRUGIKI, M. A.; FERREIRA, M. A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2006.

MAÑAS, P.; CASTRO, E.; HERAS, J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. **New Forests**, v. 37, n. 3, p. 295-311, 2009.

MORAES, L.F.D., ASSUMPCÃO, J.M., PEREIRA, T.S., LUCHIARI, C. **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. 84p.

RIBEIRO, H. M.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F. Fertilization of *Pinus pinea* L. seedlings with a sewage sludge-based compost. **Waste Management & Research**, v.27, n.1, p.112-118, 2009.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas: Versão 9.1**. Fundação Arthur Bernardes – UFV: Viçosa, 2007.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.1, p.55-65, 2012.

SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**, v.48, n.2, p.277-284, 2018.

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2016-2017**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica. 2018. 63p.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.64, n.1, p.150-162, 2003.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New Forests**, v.44, n.1, p.327-339, 2013.

### **CAPÍTULO III**

## **BIOSSÓLIDO DE DIFERENTES PROCEDÊNCIAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS**

## RESUMO

O resíduo sólido proveniente do tratamento de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, sendo denominado como biossólido após seu tratamento visando uso produtivo. Sua produção nos grandes centros urbanos é crescente e sua destinação final considerada um problema ambiental. O reaproveitamento do biossólido como substrato para a produção de mudas florestais, além do benefício relacionado a destinação sustentável do material, pode favorecer a retenção hídrica, fornecer nutrientes e reduzir custos com substratos e fertilização. O objetivo do trabalho é avaliar o biossólido produzido em diferentes estações de tratamento de esgoto (ETE) do estado do Rio de Janeiro, com e sem fertilização complementar com potássio, como substrato para a produção de mudas de espécies florestais nativas. Foram avaliadas as espécies *Colubrina glandulosa*, não pioneira de crescimento moderado e *Peltophorum dubium*, pioneira de rápido crescimento. O experimento foi montado em fatorial 5 x 2 (substratos x fertilização). Como substratos foram utilizados os biossólidos provenientes das ETEs Alegria, Ilha do Governador e Sarapuí e, como testemunha, dois substratos comerciais. Esses substratos foram testados com e sem fertilização de potássio (KCl), resultando em 10 tratamentos. Os substratos foram avaliados quanto as suas características químicas e físicas. As mudas foram avaliadas pela medição de diferentes parâmetros de crescimento e qualidade. Ao fim do experimento em viveiro foi realizado plantio em campo, sendo avaliada a sobrevivência aos 30 e 120 dias e a altura aos 120 dias após o plantio. O biossólido da ETE Alegria apresentou características físicas inadequadas para seu uso como substrato. Os biossólidos das ETE Ilha e Sarapuí apresentaram características físicas e químicas adequadas, promovendo maior crescimento e qualidade para as mudas de ambas espécies em relação aos substratos comerciais. As mudas produzidas nos biossólidos apresentaram melhor estado nutricional, além de maior sobrevivência e crescimento após plantio em campo. A fertilização complementar com K é recomendada para a produção de mudas de *Colubrina glandulosa* no biossólido da ETE Ilha. Na produção de mudas de *Peltophorum dubium* a fertilização com K não apresentou diferença para nenhum substrato. No geral, a fertilização com K promoveu maior acúmulo do elemento nos tecidos das mudas e foi benéfica para a sobrevivência após plantio em campo.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, restauração florestal, viveiros florestais, resíduos sólidos.

## ABSTRACT

The solid waste from sewage treatment have high contents of organic matter and nutrients, after treatment aiming its use in productive activities, it can be named as biosolids. The production of this residue in big urban areas is increasing and its destination is considered an important environmental problem. The reuse of biosolids as substrate to produce forest seedlings, besides the benefits of a sustainable destination of this material, can favor water retention, provide nutrients and reduce costs with substrates and fertilizers. The experiment aimed to evaluate the biosolids generated in different wastewater treatment plants (WWTP) from Rio de Janeiro state, with and without complementary fertilization with potassium, as substrate to produce native forest species seedlings. The species evaluated were *Colubrina glandulosa*, non-pioneer with moderate growth, and *Peltophorum dubium*, pioneer with fast growth. The experiment was conducted using factorial design 5 x 2 (substrates x fertilization). As substrates it was used biosolids from the WWTP of Alegria, Ilha do Governador and Sarapuí and, as control treatments, two commercial substrates. These five substrates were tested with and without potassium fertilization (KCl), resulting in 10 treatments. The physical and chemical characteristics of the substrates were evaluated. Seedlings were evaluated with the measurement of different parameters of growth and quality. At the end of the nursery experiment, some of the seedlings were outplanted to evaluate their survival at 30 and 120 day and their height ate 120 days after planting. The biosolid from WWTP Alegria showed inadequate physical characteristics for its use as substrate. The biosolids from WWTP Ilha and Sarapuí showed adequate physical and chemical characteristics, resulting in seedlings with higher growth and quality when compared to the ones produced in the commercial substrates. The seedlings produced with biosolids showed better nutritional status, as well as higher survival and growth after outplanting. The complementary fertilization with K is recommended to produce *Colubrina glandulosa* seedlings with the biosolid from ETE Ilha. In the production of seedlings of *Peltophorum dubium*, the fertilization with K was not significant for any of the substrates. In general terms, fertilization with K promoted a greater accumulation of this nutrient in the seedlings tissues and was beneficial for the survival after outplanting.

**Keywords:** sewage sludge, forest restoration, forest nurseries, solid wastes.

## 1. INTRODUÇÃO

Visando atender à demanda de projetos para restauração da Mata Atlântica, a produção de mudas de espécies florestais tem grandes desafios, como produzi-las em quantidade, com qualidade e a preços competitivos em relação ao mercado. Sendo necessários a busca e o desenvolvimento de técnicas adequadas para atender a tal demanda. Carneiro (1995) destaca que o êxito de plantios florestais, tanto para fins de produção quanto de conservação, está relacionado à qualidade das mudas utilizadas, as quais devem resistir às condições adversas encontradas no campo.

Dentre os principais fatores que irão influenciar na obtenção de mudas de qualidade, destaca-se o substrato utilizado, afetando o crescimento das raízes, tempo de formação no viveiro, estabelecimento da muda em campo, e a facilidade no transporte e no plantio das mudas (VIEIRA et al., 1998; CABREIRA et al., 2017a). Um bom substrato, segundo Carneiro (1995), deve apresentar propriedades físicas e químicas adequadas para o crescimento da muda, ausência de patógenos, riqueza em nutrientes essenciais, pH adequado, boa textura e estrutura. Além disso, os custos de aquisição e a quantidade disponível localmente de cada componente do substrato também devem ser considerados (GOMES e PAIVA, 2006).

O lodo de esgoto é o resíduo sólido proveniente do tratamento de esgoto sanitário, sendo denominado como biossólido, após tratamento para estabilização e eliminação de agentes patogênicos (VON SPERLING e ANDREOLI et al., 2014). A produção de biossólido nos grandes centros urbanos é cada vez maior e a disposição final deste material constitui um grande passivo ambiental urbano (VON SPERLING e ANDREOLI et al., 2014; ABREU et al., 2017b). Este material precisa ser mais bem aproveitado, pois é rico em matéria orgânica e em elementos químicos considerados como nutrientes para as plantas, sendo recomendada sua aplicação na área agrícola ou florestal (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Uma alternativa de reaproveitamento do biossólido é a sua utilização em substratos para produção de mudas florestais, a qual tem se mostrado viável, conforme observado por Trigueiro e Guerrini (2014), Cabreira et al. (2017a), Abreu et al. (2018), dentre outros autores. Como componente do substrato, o biossólido pode favorecer a capacidade de retenção hídrica, aumentar o teor de matéria orgânica, fornecer macro e micronutrientes e proporcionar economia para o viveiro, com a diminuição da demanda por substratos comerciais e fertilizantes (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; NOBREGA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2009; SCHEER et al., 2010).

Biossólidos provenientes de diferentes estações de tratamento de esgoto tendem a possuir diferentes características químicas e físicas. Tais variações ocorrem, entre outros fatores, devido aos diferentes processos de tratamento do esgoto e do lodo aplicados em cada ETE, bem como a origem do efluente, se provêm de áreas urbanas ou industriais (BETTIOL e CAMARGO, 2006; BERTON e NOGUEIRA, 2010). Com isso, é necessário conhecer o biossólido a ser utilizado como substrato para produção de mudas, bem como caracterizar cada lote química e fisicamente.

Dentre todos os macronutrientes, o potássio é o único que normalmente se apresenta em baixas concentrações no biossólido, em decorrência de sua alta solubilidade em água, ele permanece dissolvido no efluente durante o tratamento de esgoto (BERTON e NOGUEIRA, 2010). Na aplicação agrícola do biossólido, o potássio é o macronutriente que apresenta maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004). Esse nutriente é essencial para diversas funções vitais das plantas, como a fotossíntese e respiração, participando da ativação de enzimas, do metabolismo de carboidratos e nitrogênio, do desdobramento e translocação do amido, dentre outras funções (TAIZ e ZEIGER, 2013). O potássio é de essencial importância para rustificação de mudas florestais, considerando sua



função no controle estomático e nas relações hídricas da planta, aumentando a resistência das mudas às condições adversas de área de plantio, principalmente secas e geadas (GOMES e PAIVA, 2006). Contudo, a necessidade de suplementação do K para utilização do bio-sólido como substrato de mudas florestais é pouco abordada em estudos.

Os substratos comerciais normalmente utilizados para produção de mudas de espécies arbóreas apresentam características físicas apropriadas, mas são pobres em nutrientes (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003). Quando produzidas em tubetes, devido ao pequeno volume de substrato e baixo teor de nutrientes disponíveis, as mudas necessitam de fertilizações de base e de cobertura para seu crescimento (GOMES e PAIVA, 2006), aumentando os custos de produção do viveiro.

Entre as espécies comumente utilizadas em plantios para restauração da Mata Atlântica, encontram-se *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., conhecida popularmente como canafístula, farinha seca e angico amarelo e *Colubrina glandulosa* Perkins, conhecida popularmente como sobrasil e saguaraji. A primeira é uma espécie pioneira e de rápido crescimento, sua madeira pode ser utilizada para diversos fins, suas flores, além de melíferas, possuem grande efeito ornamental, justificando sua ampla utilização em arborização e paisagismo (CARVALHO, 2003). O sobrasil é uma espécie secundária de crescimento moderado, sua madeira pode ser aplicada na construção civil, o formato de sua copa indica seu uso no paisagismo e suas folhas, brotos, flores e frutos servem de alimento para o macaco bugio (CARVALHO, 2003). Por serem muito utilizadas em projetos de restauração florestal, ambas espécies encontram demanda para suas mudas.

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial do bio-sólido produzido em três estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, com e sem fertilização complementar de potássio, como substrato para a produção de mudas de duas espécies florestais da Mata Atlântica.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Avaliação dos substratos**

Utilizou-se cinco substratos, sendo três bio-sólidos de diferentes procedências e dois substratos comerciais. Os bio-sólidos utilizados foram provenientes das ETEs Alegria, Ilha do Governador e Sarapuí. As três estações recebem apenas esgoto de origem domiciliar, possuem sistema de tratamento secundário por lodos ativados e realizam o adensamento e estabilização do lodo. Os bio-sólidos utilizados no experimento diferem em relação aos métodos de desidratação. O bio-sólido da ETE Alegria ficou por aproximadamente 30 dias em pilha de compostagem a pleno sol, resultando em um material com teor de umidade de aproximadamente 40%. Enquanto o lodo da ETE da Ilha do Governador ficou por mais de 90 dias em leitos de secagem a pleno sol, gerando um material com teor de umidade abaixo de 20%. Já o bio-sólido da ETE Sarapuí foi submetido a secagem térmica, onde é exposto a temperatura de aproximadamente 240°C durante 10 a 20 minutos, resultando em material com teor de umidade em torno de 10%.

Os substratos comerciais foram adquiridos localmente no varejo, sendo um deles a base de casca de pinus (*Pinus* sp.) bioestabilizada e o outro a base de turfa de esfagno (*Sphagnum* sp.).

Foram coletadas amostras dos substratos estudados, para caracterização química, sendo avaliados os teores totais de macro e micronutrientes, bem como a presença de metais pesados, conforme determinado na Resolução CONAMA nº 375 / 2006 (BRASIL, 2006). Os elementos avaliados foram: P, K, Ca, Mg, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. O método de digestão aplicado foi o EPA 3050, com digestão ácida (HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em blocos digestores

em temperatura de 95°C. A determinação dos elementos foi realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Os teores de C e N foram determinados pelo método de combustão a seco, em autoanalisador elementar CHN-600. A matéria orgânica foi calculada a partir do teor de carbono total presente em cada amostra, usando o fator de conversão de “van Bemmelen”, no qual a matéria orgânica é o teor de carbono multiplicado por 1,724. O pH e a condutividade elétrica (CE) foram determinados usando 5 g de cada amostra diluída em 50 ml de água deionizada, agitado por 30 minutos e em seguida medidos em pHgâmetro e condutivímetro de bancada.

Quanto às características físicas, foram determinados os valores de densidade aparente, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, bem como a capacidade de retenção de água. Para as análises foi aplicada metodologia adaptada de Silva (1998) e BRASIL (2008), utilizando cilindros de alumínio com capacidade volumétrica de 100 cm<sup>3</sup> e abertura inferior vedada com TNT. Os cilindros foram mantidos em drenagem com o fundo em contato com folha de papel mata borrão, cujo tamanho dos poros possui diâmetro ≤ 0,0025 cm (2,5 microns), onde permaneceram por 24 horas, em nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d’água (tensão de 0,06 bar). Em seguida, os cilindros com os substratos drenados foram transferidos para estufa a 105 °C e após 48 horas foram pesados. Para determinar os atributos físicos, utilizou-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Densidade aparente do substrato (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{D - E}{C}$$

$$\text{Macroporosidade (\%)} = \left[ \frac{(A - B)}{C} \right] \times 100$$

$$\text{Microporosidade (\%)} = \left[ \frac{(B - D - E)}{C} \right] \times 100$$

$$\text{Porosidade Total (\%)} = \text{Microporosidade} + \text{Macroporosidade}$$

$$\text{Capacidade de retenção de água (ml. 50cm}^{-3}\text{)} = B - D - E$$

Em que: A = peso do substrato encharcado; B = peso do substrato drenado; C = volume do contêiner; D = peso do substrato seco; E = peso do recipiente.

## 2.2. Experimento de viveiro

O experimento foi conduzido no viveiro florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica – RJ. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima local é do tipo Aw, que significa tropical com inverno seco e verão chuvoso. A implantação do experimento foi em 11 de setembro de 2016 e o término em 06 de fevereiro de 2017. De acordo com os dados dos últimos 30 anos da estação climática da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RJ), em Seropédica – RJ, a média das temperaturas mínima, média e máxima e da umidade relativa do ar, nos meses em que o experimento foi conduzido, é de respectivamente: 17,4°C, 21,9°C, 29,4°C e 69,9% em setembro, 19,0°C, 23,2°C, 30,3°C e 71,5% em outubro, 20,2°C, 24,2°C, 31,0°C e 70,0% em novembro, 21,1°C, 25,9°C, 33,5°C e 70,9% em dezembro, 22,3°C, 26,5°C, 33,6°C e 69,7% em janeiro e 22,7°C, 26,7°C, 34,0°C e 68% em fevereiro .

Foram estudadas duas espécies arbóreas de ocorrência na Mata Atlântica, *Colubrina glandulosa* (Ruiz & Pav.) Brongn. (sobrasil), espécie não pioneira de crescimento moderado, e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (farinha seca), espécie pioneira de rápido crescimento. O estudo de espécies de diferentes grupos sucessionais, teoricamente, permite avaliar o

padrão de resposta de plantas mais sensíveis (pioneiras) e menos sensíveis (não pioneiras) a mudanças nas características físicas e químicas do substrato.

O experimento foi montado em fatorial 5 x 2, tendo como substratos os biossólidos provenientes das ETEs Alegria, Ilha e Sarapuí e, como testemunha, dois substratos comerciais. Os tratamentos descritos anteriormente foram testados com e sem fertilização com potássio (KCl), resultando em 10 tratamentos. A fertilização suplementar com potássio é avaliada considerando que na composição de biossólidos o K apresenta teores que podem ser limitantes para diferentes culturas (BETTIOL e CAMARGO, 2006; BERTON e NOGUEIRA, 2010). Cada tratamento foi composto de 6 repetições com 6 plantas cada, totalizando 36 mudas de cada espécie em cada tratamento, 360 mudas de cada espécie e 720 mudas avaliadas no total. De modo simplificado os tratamentos foram os seguintes:

- T1 = substrato comercial a base de turfa de esfagno (testemunha);
- T2 = substrato comercial a base de casca de pinus (testemunha);
- T3 = biossólido proveniente da ETE Ilha do Governador;
- T4 = biossólido proveniente da ETE Alegria;
- T5 = biossólido proveniente da ETE Sarapuí;
- T6 = substrato comercial a base de turfa de esfagno + fertilização de potássio;
- T7 = substrato comercial a base de casca de pinus + fertilização de potássio;
- T8 = biossólido proveniente da ETE Ilha + fertilização de potássio;
- T9 = biossólido proveniente da ETE Alegria + fertilização de potássio;
- T10 = biossólido proveniente da ETE Sarapuí + fertilização de potássio.

Para a produção das mudas, os recipientes utilizados foram tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, os quais foram alocados em bandejas de plástico suspensas, com capacidade para 54 recipientes. Os tubetes foram preenchidos manualmente, com o substrato de cada tratamento previamente umedecido, facilitando a compactação e acomodação no interior do recipiente. As bandejas foram alocadas em canteiro localizado a pleno sol.

As mudas de sobrasil foram produzidas por meio de semeadura direta, realizada no dia 11/09/2016, onde foram dispostas de 3 a 5 sementes por recipiente. Após a germinação foi realizado desbaste visando deixar uma planta por recipiente, geralmente a mais vigorosa e ou mais centralizada. As mudas de farinha seca foram produzidas por meio de repicagem, realizada no dia 09/10/2016, quando as mudas de sobrasil passaram por desbaste, visando equiparar o tempo de produção e crescimento das mudas de ambas espécies.

As mudas dos tratamentos com fertilização de potássio receberam em base 120 g de K<sub>2</sub>O por m<sup>3</sup> de substrato (200 g de KCl) e em cobertura 0,018 g de K<sub>2</sub>O por muda (0,03 g de KCl) dividida em três fertilizações, realizadas em 22/09, 25/10 e 17/11/2016. Essas doses de fertilizante aplicadas em base e cobertura correspondem a um acréscimo de 20% ao valor recomendado por Gonçalves et al. (2000) para produção de mudas de espécies nativas.

Durante todo o experimento as mudas de ambas espécies foram alocadas em canteiros a pleno sol. A irrigação foi realizada por sistema de microaspersão, duas vezes ao dia (início da manhã e final da tarde), procurando manter 60 a 70% da capacidade de campo do substrato. Em dias chuvosos a irrigação era reduzida ou não realizada, de acordo com a quantidade de chuva. Sempre que verificada a necessidade, por meio de observação, foi realizada a monda das mudas, com a retirada de plantas espontâneas.

Aos 30 dias após o desbaste para o sobrasil e 30 dias após a repicagem para farinha seca, as mudas foram “reespaçadas” nas bandejas, deixando 50% das “células” ocupadas.

O crescimento das mudas foi avaliado mensalmente, com medição da altura da parte aérea com uso de régua graduada (cm). A primeira avaliação ocorreu no dia 27/10/2016, pouco mais de um mês após a repicagem das mudas de farinha seca, a segunda avaliação ocorreu no dia 17/11/2016, a terceira no dia 20/12/2016 e a última no dia 03/02/2017. Tais avaliações foram realizadas até as mudas médias dos tratamentos de maior crescimento

atingirem porte para expedição, considerado como altura da parte aérea superior a 30 cm, sistema radicular bem formado e muda rustificada. Na última avaliação, além da altura, foi mensurado também o diâmetro do coleto, com uso de paquímetro (mm).

Por motivos expostos durante a apresentação e discussão dos resultados, as mudas de ambas espécies nos tratamentos com biossólidos da ETE Alegria (T4 e T9) tiveram mensuradas apenas a altura da parte aérea ao longo das 4 avaliações descritas.

Ao final do experimento foram selecionadas duas mudas mais próximas das médias (de altura) em cada repetição (12 plantas por tratamento) para avaliação da área foliar, da massa de matéria seca de parte aérea e do sistema radicular. A determinação de área foliar foi realizada por meio da passagem das folhas por medidor LICOR 3600. Em seguida, as amostras foram separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente, visando a retirada do substrato. As partes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada, onde permaneceram a 65°C durante 72 horas, para após serem pesadas em balança de precisão visando aferir a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), a massa de matéria seca da raiz (MSR) e pela soma de ambas a massa de matéria seca total (MST).

Com as variáveis mensuradas, visando determinar parâmetros utilizados para aferir a qualidade das mudas, foram calculadas a relação entre altura da parte aérea e diâmetro de coleto (H/D), relação massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (PA/R) e relação altura e massa seca da parte aérea (H/PA). Com estes valores, determinou-se também a razão de área foliar (RA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960).

$$\text{Razão de área foliar} - RA (cm^2 \cdot g) = \frac{AF}{MST}$$

$$\text{Índice de qualidade de Dickson} - IQD = \frac{MST}{\left[\left(\frac{H}{D}\right) - \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)\right]}$$

Em que: MSR = massa seca de raízes; MSPA = massa seca da parte aérea; MST = massa seca total; AF = área foliar; H = altura da parte aérea e D = diâmetro do coleto.

Após a pesagem da matéria seca, a parte aérea e raiz das duas plantas de cada repetição foram moídas em moinho de facas e reunidas para formar uma amostra composta para cada repetição. O material foi identificado, colocado em recipientes plásticos cobertos e enviados para análise de macronutrientes. Foram avaliados os teores de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos vegetais das mudas de acordo com metodologia proposta por Embrapa (2009), com solubilização nítrico-perclórica para P, K, Ca e Mg e solubilização sulfúrica para o N. A determinação do P foi feita por colorimetria, do N por destilador Kjeldahl e os elementos K, Ca e Mg por espectrofotometria por absorção atômica. A partir dos teores de macronutrientes foram calculados os valores acumulados de nutrientes (CN) por muda e a taxa de utilização (TU) de potássio, pelas fórmulas descritas abaixo:

$$\text{Acúmulo de nutriente} - AN (mg \cdot muda^{-1}) = \text{Teor do nutriente} \times MST$$

$$\text{Taxa de utilização} - TU = \frac{MST^2}{CK}$$

Em que: MST = massa seca total; CK = conteúdo de potássio nos tecidos.

### 2.3. Experimento de campo

Visando avaliar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas produzidas nos diferentes tratamentos, estas foram plantadas em campo no dia 09/02/2017, na Colônia Penal Agrícola Marco Aurélio Vergas Tavares de Mattos, no município de Magé - RJ. O local de plantio é plano, abaixo da encosta de um morro, o solo, segundo avaliação expedita, foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média.

Para cada espécie foi montado um experimento em campo. Como o plantio ocupou uma área relativamente pequena e homogênea, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), formado por 18 plantas por tratamento, sendo cada muda uma repetição. As mudas das espécies e dos tratamentos foram dispostas de maneira aleatória na área, em meio a um povoamento que estava sendo implantado. Por não ter formado mudas em quantidade e qualidade adequada, conforme exposto na apresentação e discussão dos resultados, os tratamentos com o bio-sólido da ETE Alegria (T4 e T9) não foram implantados no experimento de campo.

Para o plantio das mudas a área foi roçada e foi realizado o coroamento ao redor das covas que foram abertas com dimensões de 25 x 25 x 25 cm, respeitando-se o espaçamento de 3,0 x 1,5 m. Após a abertura das covas, estas foram adubadas com 200 g de NPK 06-30-06. Até 120 dias após o plantio, realizou-se controle de formigas cortadeiras e de plantas daninhas. Amostras de solo (camada 0-30 cm) foram retiradas para análise química e os resultados revelaram pH = 4,7; P e K<sup>+</sup> = 7,2 e 37 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> = 0,7, 0,1 e 0,6 cmol. dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Antes do plantio, a altura das mudas selecionadas, de cada espécie e em cada tratamento, foi mensurada para aferir a altura no momento do plantio (HP).

Duas avaliações foram realizadas, a primeira em 20/03/2017, pouco mais de um mês após o plantio, na qual se avaliou a sobrevivência. A segunda foi no dia 15/06/2017, quatro meses após o plantio, onde além da sobrevivência foi mensurada a altura das mudas (H<sub>120</sub>). A taxa de sobrevivência foi aferida com base na contagem das mudas vivas em cada um dos tratamentos e a altura foi medida com auxílio de vara graduada (cm). Com base nas medidas de altura no momento e aos quatro meses após o plantio, foi calculado o crescimento relativo (CR) pela fórmula abaixo.

$$CR \text{ (cm. dia}^{-1}\text{)} = \frac{(H_{120} - HP)}{(T_{120} - T_0)}$$

Em que: CR = crescimento relativo (cm.dia<sup>-1</sup>); H<sub>120</sub> = altura aos 120 dias após o plantio (cm); HP: altura no momento do plantio (cm); T = tempo (dias).

## 2.4. Análises estatísticas

A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Lilliefors e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran para cada um dos parâmetros avaliados. Quando necessário os dados foram transformados. Considerando que o experimento foi conduzido em fatorial 5 x 2 (5 substratos e 2 níveis de fertilização com K), os dados de altura na última medição e das demais variáveis do viveiro foram submetidos à análise de variância e, havendo significância, a comparação entre eles foi realizada por meio do teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para as variáveis em que foi detectada interação entre os fatores, os níveis de um fator dentro do outro foram comparados. Para todas as análises foi utilizado o *software* estatístico R.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Avaliação dos substratos

Os bio-sólidos das três estações de tratamento de esgoto (ETEs) avaliadas apresentaram teores de macro e micronutrientes em geral superiores aos substratos comerciais (Tabela 1). Dentre os bio-sólidos, o da ETE Ilha apresentou menores teores de nutrientes. Os elementos mais abundantes foram variáveis entre os substratos. Para o bio-sólido da ETE Alegria a sequência foi Fe > Al > N > P > Ca > Mg > K, para o da ETE Ilha Al > Fe > N > Ca

>P > Mg > K e para o da ETE Sarapuí Fe > Al > N > Ca > P > Mg > K. O substrato comercial a base de casca de pinus Fe > Al > N > Ca > Mg > P > K e para o substrato comercial a base de turfa Mg > Al > Fe > Ca > N > P > K.

Tabela 1: Teores de macro e micronutrientes, pH, condutividade elétrica (CE), relação C/N e matéria orgânica (MO) dos substratos utilizados na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* e *Peltophorum dubium*

	ETE Alegria	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
N (g kg <sup>-1</sup> )	24,29	18,33	19,39	7,90	5,81
P (g kg <sup>-1</sup> )	18,58	7,62	16,38	2,19	2,76
K (g kg <sup>-1</sup> )	3,72	1,26	2,36	2,13	2,50
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	12,83	12,51	16,67	3,73	15,83
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	5,65	1,90	3,56	3,52	66,12
pH	5,5	5,7	7,6	6,1	5,8
CE (dS m <sup>-1</sup> )	5,75	2,65	2,44	0,65	0,72
MO (%)	42,30	33,68	27,00	49,32	52,36
C/N	7,84	8,21	6,17	28,21	40,78
Fe (g kg <sup>-1</sup> )	41,20	30,81	68,02	12,21	24,70
Al (g kg <sup>-1</sup> )	34,46	31,12	57,24	10,35	25,15
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	308,77	143,27	2768,27	156,77	293,27
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	435,95	211,95	126,95	12,50	21,95
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	1162,55	822,55	827,55	28,05	77,05
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	49,30	17,30	22,80	13,30	501,30
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	891,33	96,33	426,33	121,33	86,33
Co (mg kg <sup>-1</sup> )	9,05	3,90	9,20	3,35	21,90

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno

Os três bioossólidos apresentaram, numericamente, maiores teores de N do que os dois substratos comerciais, o que pode ser vantajoso para o crescimento das plantas e pela possível economia de fertilizantes. Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), Hernández-Apaolaza et al. (2005) e Mañas et al. (2009) a adição de bioossólidos, em geral, eleva os teores de N dos substratos, conforme observado no presente estudo. No entanto, grandes elevações nos teores de N podem ocasionar consequências indesejáveis para o crescimento das mudas, como observado em Bonnet et al. (2002), onde maior crescimento em altura de *Mimosa scabrella* foi verificado no substrato com 100% de composto de lodo de esgoto, enquanto que os maiores diâmetros foram observado em substratos com 30 e 60% de composto. Tal resultado sugere estiolamento das mudas, que foi atribuído ao maior teor de N no substrato com 100% de composto, podendo diminuir sua taxa de sobrevivência após o plantio.

Os teores de P no bioossólido em geral são elevados sendo por vezes maiores que os observados em outros resíduos sólidos comumente utilizados como substratos (LÓPEZ et al., 2008). Como verificado nos bioossólidos avaliados, o material em geral é pobre em K, sendo sugerida a formulação de substratos com componentes que possam elevar o teor deste nutriente, como a casca de arroz carbonizada (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004) e ou a casca de café decomposto (DAVIDE et al., 2015). Segundo Bettioli e Camargo (2006), na aplicação

agrícola do biossólido é comum realizar fertilização química para complementar as concentrações de K.

A utilização de biossólido como substrato propicia grande oferta de nutrientes para as mudas, substituindo parcialmente ou integralmente a necessidade de fertilizantes químicos no processo de produção e promovendo economia para os viveiristas (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; LÓPEZ et al., 2008). Como observado por Scheer et al. (2010) na produção de mudas de *Parapiptadenia rígida*, a utilização de substrato com biossólido compostado com restos de poda (proporções de 2:1 e 3:1) foi suficiente para atender as demandas nutricionais das mudas, dispensando fertilização mineral. Em viveiros comerciais a fertilização de mudas florestais tem sido realizada independente da qualidade nutricional dos substratos, o maior foco é que o substrato possua características físicas ideais, sendo comum a utilização de materiais com baixos teores de nutrientes (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004), como os dois substratos comerciais avaliados no presente trabalho.

A matéria orgânica foi maior nos substratos comerciais do que nos biossólidos. A justificativa para esse resultado é que os biossólidos avaliados são originários de ETEs onde é realizado o tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados. De acordo com Sperling e Andreoli (2014), o biossólido proveniente de lodos ativados tende a apresentar menores teores de matéria orgânica, considerando que a mesma é parcialmente consumida por microrganismos durante o tratamento. Ambos substratos comerciais têm materiais de origem vegetal como componente principal, justificando seu alto teor de matéria orgânica.

Considerando como critério a relação C/N, os biossólidos avaliados poderiam ser considerados compostos maturados e adequados para utilização como substrato, tendo em vista que todos apresentaram relação C/N inferior a 10:1, o que segundo Kiehl (2002) caracteriza compostos orgânicos maturados ou humificados. Tal resultado pode ser atribuído aos processos pelos quais passaram esses materiais, como o tratamento de esgoto pelo sistema de lodo ativados, já que nos tanques de aeração ocorre a digestão da matéria orgânica por microrganismos, bem como o processo de estabilização do lodo, que reduz e estabiliza a fração biodegradável da matéria orgânica presente nos biossólidos (SPERLING, 2017).

Quanto aos micronutrientes, os biossólidos apresentaram altos de teores de zinco, ferro e alumínio, principalmente o da ETE Sarapuí, que também apresentou elevada concentração de manganês. Tais elementos, embora essenciais para o desenvolvimento dos vegetais, em excesso podem ocasionar fitotoxicidade. Por outro lado, os micronutrientes mencionados apresentam a tendência de ser pouco disponíveis no biossólido (NASCIMENTO et al., 2004; NÓBREGA et al., 2007; DALPISOL et al., 2017). Considerando esses fatores, a ocorrência ou não de sintomas de toxidade é discutida junto aos dados de produção de mudas.

Excetuando o biossólido da ETE Sarapuí, todos os substratos apresentaram pH dentro do intervalo de 5,5 a 6,5 recomendado por Gonçalves et al. (2000) para o cultivo de mudas florestais. As técnicas empregadas no tratamento do esgoto e do lodo podem influenciar o pH do biossólido, conforme observado por Bonnet et al. (2002) que estudaram, um biossólido de secagem térmica e o outro compostado com resíduos vegetais. Semelhante aos resultados do presente trabalho o pH do biossólido seco termicamente foi alcalino, no valor de 8,8, enquanto o biossólido compostado apresentou pH de 5,0.

Os valores de condutividade elétrica (CE) observados para os biossólidos foram elevados, considerando que Gonçalves et al. (2000) recomendaram que os mesmos não excedam  $1 \text{ dS m}^{-1}$  em substratos para produção de mudas florestais. A CE dos substratos comerciais ficou pouco abaixo do valor recomendado por Gonçalves et al. (2000). A alta condutividade (salinidade) é tida como a principal limitação da aplicação de biossólidos em substratos (Cai et al., 2010), no entanto, a mesma pode ser reduzida através da irrigação do substrato, tendo em vista que os sais tendem a drenar dissolvidos no excesso de água (ZAPATA et al., 2005). Como observado por Hernández-Apaolozza et al. (2005), que ao longo de um ano do cultivo de

mudas de *Cupressus arizonica*, em substrato com 70/30% de casca de pinheiro e bio-sólido compostado com serragem (5:1), verificaram que a CE baixou de 8,21 para 0,91 dS m<sup>-1</sup>.

Apenas o bio-sólido da ETE Ilha apresentou densidade dentro dos valores recomendados por Gonçalves e Poggiani (1996) para produção de mudas florestais, os demais bio-sólidos apresentaram densidade superior ao recomendado e os substratos comerciais valores inferiores (Tabela 2). Em substratos com densidade muito baixa as plantas podem encontrar dificuldade para se fixar, podendo ocorrer tombamento da muda (FERRAZ et al., 2005). No entanto, segundo Kämpf (2000) quanto menor o recipiente, mais baixa deve ser a densidade do substrato utilizado. Para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em tubetes, Lopes et al. (2008) verificaram que valores de densidade semelhantes aos observados no presente estudo não afetaram o desenvolvimento de mudas. Como na produção em tubetes as mudas ficam dispostas bandejas, muitas vezes em canteiros suspensos, é desejável que o substrato seja leve. Para cultivo de mudas de hortaliças em bandejas, Kämpf (2000) recomendou que o substrato tenha densidade aparente entre 0,10 e 0,35 gcm<sup>-3</sup>, intervalo no qual se encontra a densidade de ambos substratos comerciais avaliados no presente estudo.

Tabela 2: Características físicas de bio-sólidos de estação de tratamento de esgoto (ETE) e de substratos comerciais (SC) utilizados na produção de mudas de *Peltophorum dubium* e *Colubrina glandulosa*

Característica física	Recomendado*	ETE Alegria	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
Dens. aparente (g cm <sup>-3</sup> )	0,45 a 0,55	0,63	0,50	0,68	0,23	0,15
Macroporosidade (%)	35 a 45	22,65	35,49	28,77	43,49	35,25
Microporosidade (%)	45 a 55	50,85	41,54	34,27	38,73	44,43
Porosidade Total (%)	75 a 85	73,51	77,02	63,04	82,22	79,68
CRA 10cm (ml 50cm <sup>3</sup> )	20 a 30	33,09	33,12	23,96	31,88	38,58
CRA 60cm (ml 50cm <sup>3</sup> )	---	25,43	20,77	17,14	19,37	22,22

\* Valores considerados como adequados para mudas florestais por Gonçalves e Poggiani (1996). CRA = capacidade de retenção de água em tensão de 10 cm e 60 cm de coluna de água; ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno

Considerando que a densidade indica o peso do substrato e que esse é um fator importante para a manipulação das mudas no viveiro, no transporte, e deslocamento em campo (CABREIRA et al. 2017a; KRATZ et al. 2013), os substratos comerciais se apresentaram mais indicados que os bio-sólidos nesse parâmetro. No entanto, todos os materiais utilizados apresentaram densidade aparente inferior à terra de subsolo, segundo os dados de Carneiro (1995). Este componente ainda é bastante utilizado na formulação de substratos para produção de mudas de espécies florestais em sacos plásticos e recipientes maiores.

Dentre os bio-sólidos, o da ETE Ilha apresentou densidade menor que os de Sarapuí e Alegria. O tratamento para secagem e estabilização do lodo de esgoto pode influenciar nas características físicas dos bio-sólidos, conforme observado por Zapata et al. (2005), onde, semelhante ao presente trabalho, foi observada maior densidade para bio-sólido seco termicamente. Os autores verificaram que os altos valores de densidade inviabilizaram a aplicação de proporção a partir de 30% de bio-sólido seco termicamente no substrato, tendo em vista que a quantidade de ar seria limitante, podendo levar a asfixia radicular.

A porosidade total e a macroporosidade foram maiores nos substratos comerciais, sendo que os bio-sólidos das ETEs Alegria e Sarapuí apresentaram valores abaixo da recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996) para mudas florestais. Quanto a microporosidade os bio-sólidos apresentaram valores maiores que os substratos comerciais,



sendo que o bio sólido da ETE Sarapuí e ambos substratos comerciais apresentaram valores abaixo dos recomendados por Gonçalves e Poggiani (1996). Nos bio sólidos a microporosidade foi maior que a macroporosidade, enquanto os substratos comerciais apresentaram tendência inversa. Tais resultados são semelhantes aos observados na literatura, onde de modo geral, a adição de bio sólidos ao substrato proporciona aumento da densidade aparente, da microporosidade e da capacidade de retenção de água, bem como uma diminuição da macroporosidade, da aeração e da capacidade de drenagem do substrato (GUERRERO et al., 2002; GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; HERNÁNDEZ-APAOLAZA et al., 2005; LÓPEZ et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009).

A alta microporosidade dos bio sólidos denota a sua capacidade de retenção de água, que aliada a baixa macroporosidade, como no caso da ETE Alegria, pode dificultar a drenagem da água de irrigação no substrato, provocando estresse por excesso de água (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; MAÑAS et al., 2009; HIGASHIKAWA et al., 2016). Além disso, em substratos mais coesos, as raízes, teoricamente, encontram dificuldade de expandir, já que necessitam de mais força para deslocar o substrato (GUERRERO et al., 2002; ZAPATA et al. 2005). Tal condição foi relatada por Trigueiro e Guerrini (2003) para *Eucalyptus grandis*, onde altas doses de bio sólido afetaram o crescimento e a qualidade das mudas, devido à má formação do torrão do substrato e baixo crescimento de raízes laterais.

Pelos parâmetros avaliados, os substratos comerciais apresentaram melhores características físicas, sendo mais porosos e mais leves, facilitando o manejo no viveiro, a remoção das mudas dos recipientes e o deslocamento no campo para o plantio. Dentre os bio sólidos, o da ETE Ilha apresentou resultados de densidade e porosidade mais adequados para a utilização como substrato. Os resultados indicam que é viável a utilização dos bio sólidos das ETES Ilha e Sarapuí como substratos puros, enquanto o da ETE Alegria deve ser misturado com outros materiais ou permanecer por mais tempo em leitos para estabilização e secagem, visando principalmente elevar sua macroporosidade. Os dados do experimento de viveiro, discutidos adiante, corroboram com esses resultados.

Para todas as amostras de bio sólidos as concentrações de metais pesados encontravam-se abaixo das exigidas para bio sólido classe A na Resolução CONAMA nº 375 / 2006 (BRASIL, 2006) (Tabela 3). Além de prevista em lei, tal avaliação é importante para evitar contaminação de seres humanos e do ambiente, já que quando comparado com outros compostos orgânicos, os bio sólidos em geral apresentam maiores concentrações de metais pesados (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Tabela 3: Teores de metais pesados nos substratos utilizados na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* e *Peltophorum dubium* em comparação com o máximo permitido na Resolução CONAMA nº 375/2006

Substratos	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
ETE Alegria	1,80	393	2,30	289	436	207	49	1163
ETE Ilha	<0,011	178	1,10	142	212	34	17	823
ETE Sarapuí	<0,011	504	1,85	101	127	121	23	828
SC Pinus	0,20	48	0,20	6	13	24	13	28
SC Turfa	<0,011	489	<0,002	32	22	1681	501	77
CONAMA 375/2006	41	1300	39	300	1500	1000	420	2800

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno

Dentre os metais avaliados o Zn foi o de maior concentração nos biossólidos, padrão que também foi observado por López et al. (2008), Higashikawa et al. (2016), dentre outros. Esse elemento é considerado um micronutriente importante para o crescimento dos vegetais, já que participa formação de variadas proteínas e enzimas (FAQUIN, 2005).

O substrato comercial a base de turfa apresentou teores de cromo e níquel maiores que os dos biossólidos avaliados, maiores também do que o limite para aplicação agrícola de biossólidos determinado pela CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006). Segundo Vitt e Chee (1990) e Pakarinen et al. (1983) a deposição de metais pesados em turfas de *Sphagnum* sp. pode ocorrer em ambientais contaminados, ou mesmo naturais, de acordo com características químicas da água que alimenta o ambiente onde se forma o musgo.

### 3.2. Experimento de viveiro

As duas espécies avaliadas apresentaram padrões semelhantes para o acompanhamento da altura ao longo das quatro medições realizadas (Figura 1 e 2). Nos biossólidos das ETEs Ilha e Sarapuí as mudas apresentaram crescimento linear entre a primeira e última medição. Nos substratos comerciais o crescimento mais expressivo das plantas ocorreu logo após a repicagem ou germinação, antes da primeira medição, sendo que ao longo das medições as mudas apresentaram pouco crescimento.

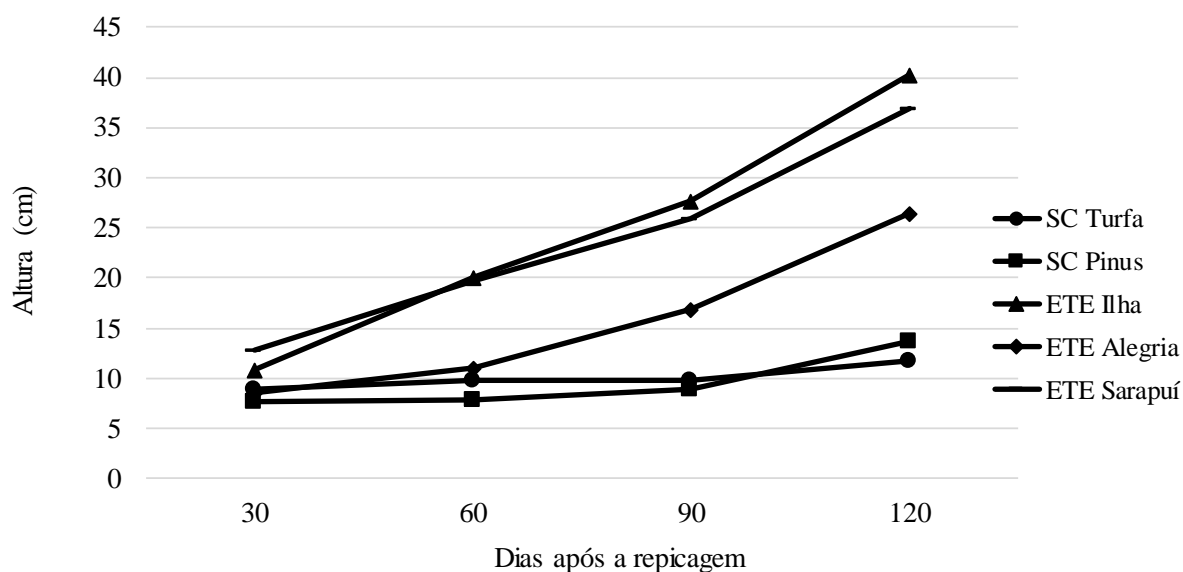


Figura 1: Crescimento em altura dos 30 aos 120 dias após a repicagem de mudas de *Peltophorum dubium* produzidas em diferentes substratos

A altura da parte aérea é o principal parâmetro observado para avaliar se mudas florestais estão ou não prontas para expedição. Segundo Moraes et al. (2013), mudas florestais nativas estão prontas para plantio ao atingirem 25 a 30 cm de altura da parte aérea, desde que devidamente rustificadas. No presente trabalho, aos 120 dias após a repicagem para *Peltophorum dubium* e aos 150 dias após a sementeira para *Colubrina glandulosa* (Figura 2), as mudas produzidas em substratos comerciais não atingiram o valor mínimo de 25 cm de altura sugerido pela recomendação técnica. Estes resultados indicam que para produzir mudas de qualidade com os dois substratos comerciais estudados é necessário realizar fertilizações de base e cobertura.

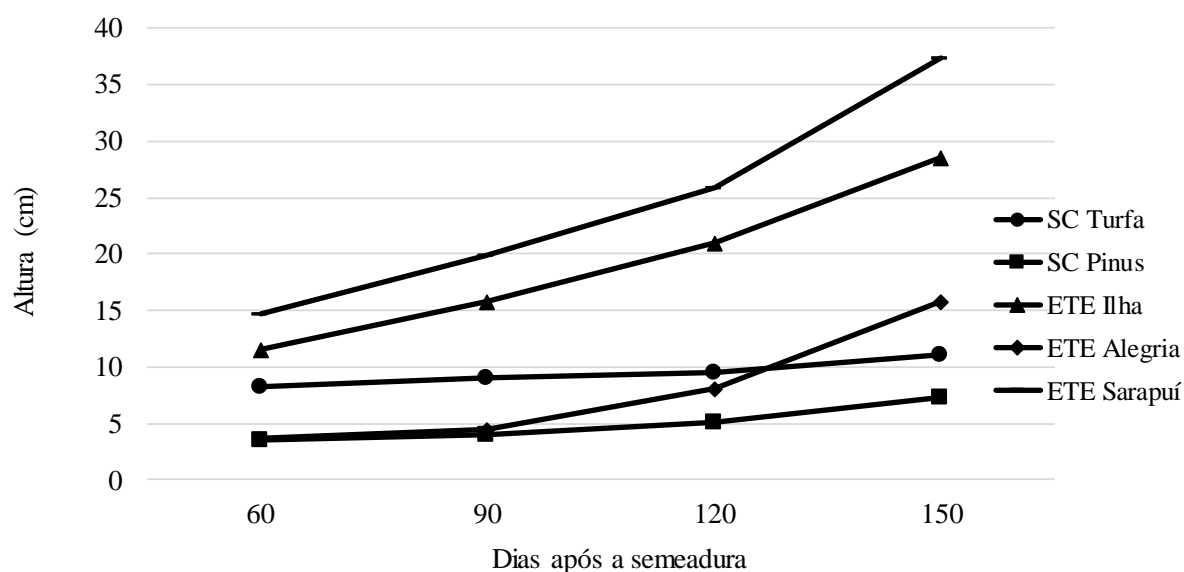


Figura 2: Crescimento em altura dos 60 aos 150 dias após a semeadura de mudas de *Colubrina glandulosa* produzidas em diferentes substratos

Já as mudas produzidas nos bioossólidos atingiram altura para expedição antes do final do experimento. Para a espécie *P. dubium* a altura recomendada por Moraes et al. (2013) foi atingida aos 90 dias após a repicagem nos bioossólidos da ETE Sarapuí e Ilha (Figura 1). Para *C. glandulosa* a altura de 25 cm foi atingida aos 120 dias no bioossólido da ETE Sarapuí e em torno de 140 dias no bioossólido da ETE Ilha (Figura 2). Dessa forma, é possível afirmar que o bioossólido proporcionou menor tempo de formação das mudas, característica positiva, considerando que um menor tempo em viveiro tende a diminuir os custos de produção e maximizar o uso do espaço, permitindo mais ciclos de produção por ano (CABREIRA et al., 2017a). Resultado semelhante para *P. dubium* foi observado por Cabreira (2017a), onde mudas da espécie estavam prontas para plantio 30 dias antes em substrato com 40% de bioossólido, 50% de terra subsolo e 10% de areia em comparação ao substrato com 40% de esterco, 50% de terra subsolo e 10% de areia. Os autores observaram os mesmos resultados também para as espécies *Ceiba speciosa* e *Lafoensia pacari*.

As mudas de *P. dubium* produzidas no bioossólido da ETE Alegria atingiram altura adequada aos 120 dias após a repicagem, porém apresentavam problemas de formação do sistema radicular e do caule. As mudas de *C. glandulosa* produzidas nesse substrato não atingiram altura adequada, além de apresentar os mesmos problemas de formação. Para o bioossólido da ETE Alegria foi observada estagnação das mudas nas duas primeiras medições, seguida de maior crescimento nas duas últimas. Considerando que esse bioossólido não foi completamente estabilizado, sua macroporosidade era baixa e a microporosidade elevada (Tabela 2), com isso a água da irrigação não drenava com facilidade, o que afetou o crescimento das raízes e levou a morte de parte das mudas. Além disso, ao longo do experimento, considerando a dinâmica de expansão e contração do substrato devido a absorção de água durante a irrigação e perda dela por evapotranspiração durante o dia, parte dele lixiviou pelo orifício inferior dos recipientes, prejudicando a formação das mudas remanescentes. Dessa forma, não foi possível mensurar os demais parâmetros para as mudas dos tratamentos com bioossólido da ETE Alegria. O presente resultado demonstra a necessidade de estabilizar adequadamente esse bioossólido antes de aplicá-lo como substrato

ou mesmo da mistura desse material com outros componentes que possam melhorar sua porosidade e capacidade de drenagem.

Na Tabela 4 verifica-se que em ambas as espécies houve diferença significativa ( $F > 0,05$ ) para os parâmetros de crescimento e qualidade no fator substrato. Para o fator fertilização com K, houve diferença apenas para *Colubrina glandulosa* nos parâmetros área foliar e relação parte aérea e raiz. As espécies avaliadas apresentaram padrões diferentes quanto a interação entre os fatores. Nas mudas de *Peltophorum dubium* ela foi significativa apenas para área foliar e massa seca da parte aérea (MSPA), enquanto para as mudas de *C. glandulosa* a interação foi significativa para a maioria dos parâmetros (diâmetro, área foliar, massa seca de raiz, massa seca total, relação altura / diâmetro, relação parte aérea / raiz e índice de qualidade de Dickson).

Tabela 4: Resumo da análise da variância (p-value) de parâmetros de crescimento e de qualidade de mudas de duas espécies arbóreas, na época de expedição para o campo, produzidas em diferentes substratos, com e sem fertilização de K

Parâmetro de crescimento ou qualidade das mudas	<i>Peltophorum dubium</i>			<i>Colubrina glandulosa</i>		
	Substrato	Fertilização	Sub*Fer	Substrato	Fertilização	Sub*Fer
Altura	0,0000	0,4622	0,6590	0,0000	0,9191	0,1871
Diâmetro	0,0000	0,0549	0,2194	0,0000	0,1606	0,0091
Área foliar	0,0000	0,9127	0,0106	0,0000	0,0124	0,0091
Razão de área foliar	0,0000	0,3497	0,0592	0,0000	0,6752	0,1294
Massa seca da parte aérea	0,0000	0,7506	0,0184	0,0000	0,3518	0,0751
Massa seca de raiz	0,0000	0,3545	0,7317	0,0000	0,5856	0,0131
Massa seca total	0,0000	0,9394	0,1192	0,0000	0,4486	0,0364
Relação altura / diâmetro	0,0000	0,1613	0,9710	0,0000	0,5844	0,0000
Relação parte aérea / raiz	0,0000	0,5460	0,7560	0,0000	0,0500	0,0010
Índice qualidade de Dickson	0,0000	0,3341	0,5137	0,0000	0,4858	0,0007

Para p-value  $\leq 0,05$  a análise de variância foi significativa a 5%.

A respeito do substrato, as mudas de *P. dubium* produzidas com bio sólidos, em geral, apresentaram maior crescimento e qualidade do que as produzidas em substratos comerciais (Tabela 5). Não foi observada diferença entre os bio sólidos da ETE Ilha e Sarapuí para os parâmetros avaliados. Entre os substratos comerciais, a formulação a base de casca de pinus apresentou maiores médias que o substrato a base de turfa para altura, razão de área foliar, relação altura e diâmetro e relação raiz parte aérea, enquanto o substrato com turfa apresentou maior média para índice de qualidade de Dickson.

Tabela 5: Médias de altura, diâmetro, razão de área foliar (RAF), massa de matéria seca de raiz (MSR) e total (MST), relação altura e diâmetro (HD), relação parte aérea e raiz (PAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Peltophorum dubium*, aos 120 dias após a repicagem, produzidas em diferentes substratos, com e sem fertilização com K

Variáveis	Substrato				Fertilização	
	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa	Com	Sem
Altura (cm)	40,5 a	36,9 a	13,6 b	11,8 c	25,5 a	25,3 a
Diâmetro (mm)	8,29 a	8,12 a	2,55 b	3,00 b	5,65 a	5,20 a
RAF (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	9,36 a	8,22 a	3,31 b	0,73 c	5,72 a	5,73 a
MSR (g)	4,65 a	5,49 a	0,56 b	0,79 b	3,02 a	2,65 a
MST (g)	14,66 a	16,15 a	1,31 b	1,56 b	8,92 a	7,62 a

HD	4,90 a	4,59 ab	5,40 a	4,00 b	4,56 a	4,88 a
PAR	2,19 a	2,04 ab	1,61b	0,96 c	1,64 a	1,75 a
IQD	2,12 a	2,52 a	0,20 c	0,31 b	1,39 a	1,15 a

Para cada fator (substratos e fertilização), médias seguidas de mesma letra na linha indicam que os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Quanto a fertilização com potássio, é possível afirmar que ela não foi eficiente para a espécie *P. dubium*. Para os substratos comerciais é possível afirmar que as plantas não responderam a fertilização apenas com K, considerando a escassez dos demais nutrientes nesses substratos. Nos bio sólidos, embora o teor de potássio fosse relativamente baixo, a quantidade do nutriente foi suficiente para o crescimento das mudas de *P. dubium* em viveiro, provavelmente pela boa adaptabilidade e ocorrência dessa espécie em solos considerados pobres (CARVALHO, 2003), sugerindo que a mesma seja pouco exigente em relação a esse nutriente.

No substrato com bio sólido da ETE Ilha as mudas apresentaram maior área foliar quando fertilizadas com potássio (Tabela 6). Ao contrário da baixa resposta de *P. dubium* à aplicação de K observada no presente estudo, Cruz et al. (2011), estudando o efeito de diferentes doses de macronutrientes no crescimento de mudas da espécie, recomendaram a aplicação de doses superiores a 200 mg dm<sup>-3</sup> de K, mencionando que *P. dubium* apresenta alta exigência para esse nutriente. A aplicação de K no presente estudo, somadas base e cobertura foi de 85 mg dm<sup>-3</sup>, portanto inferior ao recomendado por Cruz et al. (2011). No entanto, o teor total de K nos bio sólidos das ETE Ilha e Sarapuí foram equivalentes a 1.260 mg dm<sup>-3</sup> e 2.360 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente. Mesmo considerando que essa quantidade do nutriente não estivesse prontamente disponível para as plantas, é possível inferir que ambos bio sólidos apresentavam quantidade suficiente de K para o crescimento das mudas dessa espécie, conforme observado e sugerido também por Cabreira et al. (2017a).

Tabela 6: Médias de área foliar (AF) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) para mudas de *Peltophorum dubium*, aos 120 dias após a repicagem, produzidas em diferentes substratos, com e sem fertilização com K

Parâmetro	Fertilização K	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
AF (cm <sup>2</sup> )	Presente	173,7 Aa	109,0 Aa	4,6 Ab	1,1 Ac
	Ausente	101,6 Ba	142,3 Aa	7,9 Ab	1,0 Ac
MSPA (g)	Presente	10,98 Aa	11,38 Aa	0,58 Bb	0,69 Ab
	Ausente	8,85 Aa	9,94 Aa	0,91 Ab	0,84 Ab

Para letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna, os tratamentos não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Outro efeito observado na avaliação entre os níveis de cada fator para *P. dubium* foi a maior massa seca de parte aérea das mudas produzidas sem fertilização de potássio e com substrato comercial a base de casca de pinus. Tal resultado foi aparentemente ocasional, não sendo encontrada justificativa para sua ocorrência.

Conforme os dados apresentados na Tabela 7, mudas de *Colubrina glandulosa* demonstraram padrões diferentes aos de *P. dubium* para as avaliações entre os substratos. De modo geral, os bio sólidos também apresentaram médias superiores aos substratos comerciais. No entanto, foram verificadas diferenças entre eles para altura e massa seca da parte aérea, onde as médias do substrato com bio sólido da ETE Sarapuí foram superiores ao

da ETE Ilha. Dentre os substratos comerciais, a formulação a base de turfa foi superior à de casca de pinus para as médias de altura e massa seca da parte aérea.

Tabela 7: Médias de altura, razão de área foliar (RAF) e massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) para mudas de *Colubrina glandulosa*, aos 180 dias após a semeadura, produzidas em diferentes substratos, com e sem fertilização com K

Variáveis	Substrato				Fertilização	
	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa	Com	Sem
Altura (cm)	28,5 b	37,4 a	7,2 d	11,1 c	19,9 a	20,1 a
RAF (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	36,87 a	33,92 a	7,27 b	6,13 b	21,34 a	21,04 a
MSPA (g)	4,69 b	6,81 a	0,18 d	0,55 c	3,47 a	2,54 a

Para cada fator (substratos e fertilização), médias seguidas de mesma letra na linha indicam que os tratamentos não diferem entre si a 95% pelo teste de Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Nos dados da Tabela 8, para os quais foi observada interação entre os fatores, verifica-se padrão semelhante ao observado na Tabela 7, com os biossólidos apresentando valores significativamente maiores que os substratos comerciais na maioria das variáveis. Considerando apenas os tratamentos sem fertilização, constata-se que o biossólido da ETE Sarapuí apresentou valores superiores ao da ETE Ilha nas variáveis diâmetro e massa seca de raiz e inferior para relação altura e diâmetro. Nos tratamentos com fertilização, os valores de ambos biossólidos foram semelhantes para todas as variáveis. Para os substratos comerciais, tanto na presença quanto na ausência de K, a formulação a base de turfa apresentou melhores médias para a maioria das variáveis.

Tabela 8: Médias de diâmetro, massa de matéria seca de raiz (MSR) e total (MST), relação altura e diâmetro (HD), relação parte aérea e raiz (PAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Colubrina glandulosa*, aos 180 dias após a semeadura, produzidas em diferentes substratos, com e sem fertilização com K

Parâmetro	Fertilização K	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
Diâmetro (mm)	Presente	7,18 Aa	7,68 Aa	1,83 Ac	3,38 Ab
	Ausente	6,18 Bb	7,22 Aa	1,87 Ad	3,90 Ac
MSR (g)	Presente	4,26 Aa	5,85 Aa	0,35 Ac	1,03 Bb
	Ausente	3,31 Ab	5,26 Aa	0,25 Ad	1,63 Ac
MST (g)	Presente	9,45 Aa	13,74 Aa	0,52 Ac	1,52 Bb
	Ausente	7,49 Aa	11,01 Aa	0,46 Ac	2,26 Ab
HD	Presente	3,64 Ba	5,19 Aa	3,89 Aa	3,35 Ab
	Ausente	4,93 Aa	4,82 Ab	3,92 Abc	2,78 Bc
PAR	Presente	1,23 Aa	1,35 Aa	0,47 Bb	0,50 Ab
	Ausente	1,27 Aa	1,10 Ba	0,78 Ab	0,36 Ab
IQD	Presente	10,98 Aa	11,38 Aa	0,58 Bb	0,69 Ab
	Ausente	8,85 Aa	9,94 Aa	0,91 Ab	0,84 Ab

Para letras minúsculas iguais na linha e letras maiúsculas iguais na coluna, os tratamentos não diferem entre si a 95% pelo teste de Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Foram observados efeitos na avaliação entre os níveis de fertilização de potássio com os substratos comerciais. Para o substrato a base de casca de pinus a relação entre parte aérea

e raiz foi maior no tratamento sem fertilização com K. Para o substrato a base de turfa o tratamento sem fertilização com K apresentou maiores valores de massa seca de raiz, massa seca total e índice de qualidade de Dickson e menores valores para a relação altura e diâmetro. Tais resultados parecem ocasionais, já que não apresentam explicação que seja coerente com as demais avaliações realizadas.

Para ambas espécies, os dados da relação parte aérea e raiz (PAR) foram maiores nos biossólidos, indicando que, proporcionalmente, o investimento na produção de parte aérea foi maior para os biossólidos e o investimento em raiz maior nos substratos comerciais. Tais resultados podem ser justificados pelos altos teores de nitrogênio e fósforo presentes nos biossólidos (Tabela 1). Normalmente em ambientes menos ricos em nutrientes as espécies arbóreas investem, proporcionalmente, mais em sistema radicular do que na parte aérea, como forma de garantir maior absorção de nutrientes, conforme observado por Reis et al. (1985) para plantas de eucalipto, em povoamentos plantados. Comparando composto de biossólido e restos de poda com substrato comercial, Scheer et al. (2012) observaram teores de N e P aproximadamente 200% maiores na biomassa foliar de mudas de *Lafoensia pacari* produzidas no composto de biossólido. A importância do N e P para o arranque e crescimento inicial da parte aérea das mudas é mencionada por Faria et al. (2013), que verificaram maior crescimento de *Senna alata* em substrato com 80% de biossólido e 20% de fibra de coco, resultado que foi atribuído aos maiores teores de N e P observados nesse substrato.

Na literatura é citado que o valor ideal para a PAR seria de 2,0 (GOMES e PAIVA, 2006; CALDEIRA et al., 2008), valor próximo ao observado para as mudas de *P. dubium* produzidas em ambos biossólidos. Para as mudas de *C. glandulosa* os valores ficaram entre 1,10 e 1,35 nos biossólidos e foram ainda menores nos substratos comerciais. Como essa é uma espécie de crescimento moderado, acredita-se que tal resultado não ilustre um problema de qualidade das mudas e sim denote uma característica da espécie de maior investimento em raiz.

Segundo Carneiro (1995), quanto maior o valor do índice de qualidade de Dickson (IQD) mais equilibrado está o crescimento da muda e maior pode ser considerada a sua qualidade. Os resultados de IQD em ambas espécies seguiram a tendência observada para o crescimento, onde os tratamentos com biossólidos apresentaram maiores valores. Para a espécie *P. dubium*, Cabreira et al. (2017) observaram que mudas com IQD entre 1,31 e 2,37 obtiveram boa sobrevivência e crescimento após o plantio, sugerindo que as mudas produzidas com os biossólidos das ETE Ilha e Sarapuí no presente trabalho tenham resultado semelhante. Para *C. glandulosa* não foi encontrada referência para o valor de IQD, o que confirma a necessidade de estudos avaliando a utilização desse e de outros parâmetros na aferição de qualidade de mudas florestais nativas.

Entre os substratos comerciais, a formulação a base de casca de pinus apresentou melhores resultados de crescimento e qualidade do que a turfa para as mudas de *P. dubium*, enquanto para a *C. glandulosa* foi observado o contrário, com melhores resultados para o substrato a base de turfa. Na literatura foram encontrados estudos que corroboram o observado para *C. glandulosa*, como o de Kratz et al. (2017) que observaram maior crescimento de *Eucalyptus benthamii* em substrato comercial a base turfa do que a base de casca de pinus. Assim como Mañas et al. (2009), que testando diferentes componentes em substratos para produção de mudas de *Pinus pinaster*, observaram melhores resultados em misturas que continham turfa do que casca de pinus. Quando consideradas as características físicas apresentadas na Tabela 2, o substrato a base de turfa apresentou densidade, macroporosidade e capacidade de retenção de água mais adequadas que a substrato a base de casca de pinus, o que pode ter favorecido o crescimento de *C. glandulosa*. Por outro lado, o substrato formulado com casca de pinus apresentou maior teor de nitrogênio que a formulação com turfa, o que pode ter favorecido o crescimento da espécie pioneira *P. dubium*.

A fertilização com potássio para *C. glandulosa* nos substratos comerciais não foi eficiente, assim como observado para *P. dubium*, considerando que a escassez dos demais nutrientes limitou o crescimento das mudas. No substrato com biossólido da ETE Sarapuú foi observado que a fertilização com potássio ocasionou maior média para a relação parte aérea / raiz (Tabela 8). Para as mudas produzidas com o biossólido da ETE Ilha, a fertilização com K promoveu maiores médias para diâmetro, índice de qualidade de Dickson, bem como relação H/D mais equilibrada.

Os resultados quanto a fertilização com K para crescimento e qualidade das mudas indicam que ela seria recomendada para produção de *C. glandulosa* no biossólido da ETE Ilha e desnecessária, embora benéfica, para o da ETE Sarapuú. Para *P. dubium* a fertilização com K se mostrou desnecessária. O consumo de KCl no presente estudo foi de apenas 0,146 g por muda ou, considerando o milheiro (mil mudas), 146 g. Utilizando o valor de R\$ 1.610,00 pela megagrama de KCl, conforme dados da CONAB para o mês de julho de 2018 (CONAB, 2018), o consumo desse fertilizante no presente estudo onerou em R\$ 0,23 o lote de mil mudas, isso excetuando o custo da mão de obra para aplicação de KCl em base e cobertura. Considerando o baixo custo e a eficiência, a fertilização com K pode ser recomendada para produção de mudas de *C. glandulosa* nos biossólidos avaliados.

A menor resposta para fertilização com K em crescimento e qualidade das mudas, observada para o biossólido da ETE Sarapuú, é justificada pelo maior teor de K presente na composição desse material (Tabela 1). Enquanto o biossólido da ETE Alegria apresentou teor total de 1,26 g kg<sup>-1</sup>, o biossólido da ETE Sarapuú continha quase o dobro dessa quantidade (2,36 g kg<sup>-1</sup>).

Em relação às espécies estudadas, *C. glandulosa*, considerada não pioneira de crescimento moderado (CARVALHO, 2003), apresentou resposta em crescimento quando realizada a fertilização com K, enquanto para *P. dubium*, pioneira de crescimento rápido (CARVALHO, 2003), não foi observada resposta. Silva et al. (1997), que avaliaram a resposta à fertilização com K para mudas de 14 espécies florestais nativas, dentre elas *P. dubium*, observaram que as respostas em crescimento são distintas entre as espécies e grupos sucessionais. No entanto, diferente do presente trabalho, os autores constataram que espécies pioneiras de rápido crescimento apresentaram maior resposta a fertilização com K, provavelmente devido ao substrato utilizado ser relativamente pobre em nutrientes.

A redução dos gastos com fertilização de viveiro, apresentadas como vantagem da utilização de biossólidos em substratos por Trigueiro e Guerrini (2003) e Ribeiro et al. (2009), foi expressiva quando considerada a fertilização completa de macro e micronutrientes em base e cobertura. No presente trabalho, a maior economia que a utilização do biossólido promoveu foi relacionada aos gastos com substratos comerciais, já que os biossólidos foram cedidos para o estudo. Considerando que os valores apurados localmente no varejo são de R\$ 1.020,00 e R\$ 800,00 por megagrama dos substratos comerciais a base de turfa e casca de pinus respectivamente, os custos dos mesmos no presente estudo foram de R\$ 0,12 e R\$ 0,10 por muda ou R\$ 125,92 e R\$ 98,76 pelo lote de mil mudas. A redução do custo do substrato com a utilização de biossólido foi observada por Ingelmo et al. (1998), onde a incorporação de 25% de biossólido a um substrato composto por 50% de turfa de esfagno e 50% de bagaço de uva reduziu em 30% o custo relativo do substrato utilizado para produção de mudas de *Cupressus sempervirens* e outras espécies não arbóreas. Kratz et al. (2017) observaram que, entre materiais utilizados na composição de substratos para produção de mudas florestais, o biossólido foi o que apresentou menor valor de aquisição, entre as outras opções estavam moinha de carvão, casca de pinus, turfa e casca de arroz carbonizada.

Considerando as características físicas apresentadas na Tabela 2, os substratos comerciais apresentaram porosidade e capacidade de drenagem mais adequadas do que as verificadas para os biossólidos. Já em relação as características químicas, apresentadas na



Tabela 1, os bio sólidos demonstraram maior teor de macro e micronutrientes do que os substratos comerciais. Os resultados observados para ambas espécies nos substratos avaliados sugerem que, como não foi realizada fertilização complementar além do K, as características químicas foram mais determinantes do que as físicas para os parâmetros de crescimento e de qualidade avaliados. Tal resultado poderia ser diferente se realizada a fertilização complementar nos substratos comerciais, conforme observado por Trigueiro e Guerrini (2003) para *Eucalyptus grandis*, onde o substrato comercial obteve valores de altura e diâmetro semelhantes ao substrato com 50% de bio sólido e 50% de casca de arroz carbonizada e superiores ao do substrato com 80% de bio sólido e 20% de casca de arroz carbonizada. Para *Anadenanthera colubrina*, Scheer et al. (2012b) observaram crescimento e biomassa semelhantes entre substrato comercial a base de casca de pinus e bio sólido compostado com restos de poda, ambos fertilizados com 2,7 e 4,0 g dm<sup>-3</sup> de fertilizante NPK 15-09-12 de liberação lenta.

No presente estudo o bio sólido foi utilizado puro (100%) como substrato, sem mistura com outros materiais. Essa decisão foi embasada por estudos anteriores com produção de mudas em bio sólidos dessas mesmas ETEs, como os de Abreu et al. (2017a, b) e Cabreira et al. (2017a, b). Na literatura as recomendações quanto a proporção de bio sólidos em substratos são variáveis. Para Kratz et al. (2013), apenas pequenas proporções (10 a 20%) de bio sólido mostraram viáveis em substrato para a produção de mudas de *Mimosa scabrella*. Outros trabalhos recomendam proporções em torno de 40 a 80% para diferentes espécies (CALDEIRA et al., 2012; FARIA, et al., 2013; DELARMELINA et al., 2014; TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014). A ocorrência de salinidade, a presença de elementos tóxicos às plantas, bem como a alta densidade e baixa porosidade, podem influenciar na proporção ou mesmo inviabilizar a utilização do bio sólido como substrato para produção de mudas florestais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004; MAÑAS et al., 2009; RIBEIRO et al.; 2009; KRATKA e CORREIA; 2015). Com base nos resultados de crescimento e qualidade das mudas do presente estudo, bem como dos anteriores realizados com os bio sólidos das ETEs avaliadas, é possível afirmar que o tratamento de afluente urbano, pelo sistema de lodos ativados, seguido da estabilização do lodo em leitos de secagem ao ar livre por 90 dias ou da secagem térmica, dá origem a um bio sólido com boa aptidão para reaproveitamento na produção de mudas florestais, podendo ser utilizado como substrato sem necessidade de mistura com outros materiais.

A variação das características químicas e físicas de bio sólidos de diferentes ETEs pode impactar na produção de mudas, como observado por Bonnet et al. (2002), Mañas et al. (2010), Abreu et al. (2017b), dentre outros. A comparação entre os resultados de crescimento e qualidade das mudas entre o bio sólido da ETE Ilha e o da ETE Sarapuí indica que, para *P. dubium*, não houve diferença entre os dois materiais. Para *C. glandulosa* foram observados resultados superiores, na fase de viveiro, para o bio sólido da ETE Sarapuí em boa parte dos parâmetros avaliados. Avaliando bio sólidos das mesmas ETEs que o presente trabalho, na produção de mudas de *Lafoensia pacari*, Abreu et al. (2017b) observaram resultado semelhante ao verificado para *C. glandulosa*, onde o maior crescimento e biomassa foram constatados nas mudas produzidas com bio sólido da ETE Sarapuí. Os autores justificaram o resultado devido aos maiores teores de nutrientes observados nesse bio sólido, o que no presente estudo ocorreu para o bio sólido da ETE Alegria. Outro resultado interessante de Abreu et al. (2017b) foi a viabilidade de produzir mudas no bio sólido da ETE Alegria, que apresentou resultados semelhantes ao da ETE Ilha. Os autores mencionam que o bio sólido da ETE Alegria por eles avaliado permaneceu em leito de secagem por 90 dias, tempo superior aos 30 dias que o material testado no presente trabalho.

Não foi observado efeito de salinidade nas mudas produzidas com os bio sólidos, embora a condutividade elétrica (CE) deles tenha sido alta, conforme observado na Tabela 1.

É recomendado por Gonçalves et al. (2000) que a CE não exceda  $1 \text{ dS m}^{-1}$  em substratos para produção de mudas florestais e os substratos da ETE Ilha e ETE Sarapuí apresentaram CE de  $2,65 \text{ dS m}^{-1}$  e  $2,44 \text{ dS m}^{-1}$  respectivamente. Os resultados verificados corroboram com a afirmação de Ribeiro et al. (2009) de que as espécies florestais apresentam maior tolerância a salinidade, o que também foi observado por Guerrero et al. (2002), onde a condutividade de  $8,1 \text{ dS m}^{-1}$  em substrato com casca de pinus (70%) e composto de biossólido (30%) não limitou o crescimento das coníferas *Pinus pinea* e *Cupressus arizonica*. López et al. (2008) não observaram diferenças na sobrevivência, crescimento em altura e diâmetro de mudas de *Cupressus sempervirens* em substratos formados por composto de biossólido e turfa nas proporções de 0/100 25/75, 50/50 e 75/25%, os valores de condutividade elétrica (CE) variaram entre  $0,2$  e  $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ , apontando que tal espécie tolera CE de  $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ , podendo até tolerar valores um pouco maiores.

Outro fator a respeito da salinidade, é que os considerados altos valores de CE dos biossólidos no início de produção das mudas, provavelmente diminuíram até a fase final de produção, provavelmente atingindo valor próximo ao considerado adequado por Gonçalves et al (2000). Essa redução que ocorre devido a lavagem dos substratos pela irrigação, conforme observado por Zapata et al. (2005). Como observado por Hernández-Apaolozza et al. (2005), em estudo com mudas de espécies arbóreas, no qual a CE inicial era de  $9,3 \text{ dS m}^{-1}$  em substrato com 70/30% de fibra de coco e biossólido compostado com serragem (1:3), reduzindo para  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  no cultivo de mudas de *P. pinea*,  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$  para *Cupressus arizonica* e  $1,9 \text{ dS m}^{-1}$  para *Cupressus sempervirens*, considerando que o experimento teve duração de um ano.

Os altos teores dos micronutrientes ferro, alumínio e zinco nos biossólidos, além do manganês na ETE Sarapuí, não ocasionaram efeitos visíveis de toxicidade nas mudas produzidas. Isto pode ser explicado pelo fato desses elementos comumente estarem pouco disponíveis ou complexados na matéria orgânica do biossólido. Avaliando a produção de mudas de *Schinus terebinthifolius*, Nóbrega et al. (2007) observaram que proporções crescentes de biossólido no substrato promoveram decréscimo na saturação por alumínio, o que foi atribuído a complexação do elemento na matéria orgânica. Nascimento et al. (2004) observaram que o Fe foi o metal de maior concentração no biossólido por eles avaliado, porém a aplicação do material no solo pouco aumentou a disponibilidade do mesmo, sugerindo que o Fe se encontra no biossólido em formas pouco disponíveis, como em óxidos de ferro ou na estrutura da matéria orgânica. Para Mn, Dalpisol et al. (2017) observaram que em pH alcalino, como o observado no biossólido da ETE Sarapuí, o elemento se torna indisponível para as plantas, podendo ser complexado na matéria orgânica. Outra possibilidade é de que, embora altas, as concentrações de tais elementos não tenham sido suficientes para causar fitotoxicidade, o que pode ter ocorrido no caso do Zn e Mn, por exemplo. Para o Fe e Al, tal possibilidade é menos provável, considerando que a concentração desses elementos nos biossólidos foi maior que a de macronutrientes como o N e o P.

Na Tabela 9 verifica-se em ambas espécies que houve diferença significativa ( $F > 0,05$ ) entre os substratos para os teores e acúmulos de macronutrientes, além da taxa de utilização de K. Para o fator fertilização com K, houve diferença significativa ( $F > 0,05$ ) apenas para o teor de K, no acúmulo de K e Ca e na taxa de utilização (TU) de K para *P. dubium* e para o teor e acúmulo de K e Mg para *C. glandulosa*. A interação entre os fatores nas mudas de *P. dubium* foi significativa para K e Ca acumulados, enquanto para as mudas de *C. glandulosa* a interação foi significativa para o teor de N, os acumulados de K, Ca, Mg e para a TU.

Tabela 9: Resumo da análise de variância (p-value) da taxa de utilização do K, do teor e acúmulo de nutrientes nas mudas de *Colubrina glandulosa* e *Peltophorum dubium* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

	<i>Peltophorum dubium</i>			<i>Colubrina glandulosa</i>		
	Substrato	Fertilização	Sub*Fer	Substrato	Fertilização	Sub*Fer
Teor de N	0,0000	0,7172	0,5313	0,0000	0,0621	0,0385
Teor de P	0,0001	0,4805	0,6544	0,0000	0,9611	0,1702
Teor de K	0,0000	0,0388	0,6467	0,0000	0,0001	0,1365
Teor de Ca	0,0001	0,5009	0,8456	0,0000	0,5596	0,2759
Teor de Mg	0,0000	0,4095	0,3095	0,0000	0,0293	0,4047
N acumulado	0,0000	0,4779	0,3305	0,0000	0,6673	0,0019
P acumulado	0,0000	0,8930	0,9986	0,0000	0,0701	0,0860
K acumulado	0,0000	0,0420	0,0078	0,0000	0,0000	0,0000
Ca acumulado	0,0000	0,0161	0,0008	0,0000	0,8713	0,0000
Mg acumulado	0,0000	0,9043	0,5413	0,0000	0,0470	0,0000
Utilização de K	0,0000	0,0128	0,0562	0,0000	0,2970	0,0010

Para p-value  $\leq 0,05$  a análise de variância foi significativa a 5%.

Em geral, os maiores teores de nutrientes nos tecidos das mudas de *P. dubium* foram observados nos substratos comerciais (Tabela 10). Considerando o acúmulo de nutriente, observou-se padrão inverso, com maiores valores nos biossólidos, o que comprova maior absorção e utilização de nutrientes nos substratos com esse material. Esse resultado pode ser explicado pelo efeito de diluição, onde devido a maior produção de biomassa nos substratos com biossólidos, os nutrientes ficaram menos concentrados nos tecidos das plantas. Efeitos de diluição semelhante ao observado no presente trabalho, entre substratos contendo biossólido e substratos comerciais, também foram observados por Ostos et al. (2008) em mudas de *Pistacia lentiscus* e Rocha et al. (2013) para mudas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*.

Tabela 10: Taxa de utilização do K, teores e acúmulo de nutrientes nos tecidos de mudas de *Peltophorum dubium* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

Variáveis	Substrato				Fertilização	
	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa	Com	Sem
Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	12,80 bc	13,36 b	16,59 a	10,43 c	13,17 a	13,42 a
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )	2,29 b	2,43 b	3,61 a	2,32 b	2,60 a	2,72 a
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	4,51 c	6,83b	11,28 a	9,66 a	8,54 a	7,59 b
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )	10,57 ab	9,89 b	12,11 a	7,74 c	10,24 a	9,91 a
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,36 c	2,03 b	2,36 b	7,84 a	3,35 a	3,44 a
N acumulado (mg muda <sup>-1</sup> )	245,89 a	289,11 a	30,85 b	24,58 c	150,65 a	144,56 a
P acumulado (mg muda <sup>-1</sup> )	43,91 a	52,53 a	6,73 b	5,46 c	26,94 a	27,38 a
Mg acumulado (mg muda <sup>-1</sup> )	26,26 b	43,86 a	4,40 d	18,50 c	23,34 a	23,17 a
Taxa de utilização de K	4,35 a	3,20 b	0,16 s	0,25 c	1,97 b	2,01 a

Para cada fator (substratos e fertilização), médias seguidas de mesma letra na linha indicam que os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Quanto ao fator fertilização, só foi verificada diferença para o teor de potássio nos tecidos das mudas de *P. dubium*, que foi maior nos tratamentos onde foi realizada a fertilização (Tabela 10). Na Tabela 11 verifica-se que a fertilização com K resultou em maior acúmulo desse nutriente nas mudas produzidas nos biossólidos das ETE Ilha e Sarapuí. Esses resultados demonstram que, embora não tenha sido observada diferença no crescimento e qualidade, a fertilização com K promoveu maior concentração e acúmulo do nutriente no tecido das mudas produzidas.

Tabela 11: Acúmulo de K e Ca nos tecidos de mudas de *Peltophorum dubium* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

Parâmetro	Fertilização K	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
K acumulado (g.muda <sup>-1</sup> )	Presente	107,15 Ab	159,54 Aa	19,51 Ac	23,20 Ac
	Ausente	69,05 Bb	136,77 Ba	22,47 Ac	22,09 Ac
Ca acumulado (g.muda <sup>-1</sup> )	Presente	230,73 Aa	223,19 Aa	20,84 Bb	17,32 Bc
	Ausente	179,02 Ba	204,79 Aa	24,24 Ab	19,1 Ab

Para letras minúsculas iguais na linha e letras maiúsculas iguais na coluna, os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Estudando a produção de mudas de *P. dubium*, Cruz et al. (2011) avaliaram a aplicação de diferentes doses de fertilizantes com os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg, recomendando doses de 600 mg dm<sup>-3</sup> para P, 150 mg dm<sup>-3</sup> para K, 60,75 mg dm<sup>-3</sup> para Mg e doses abaixo de 50 mg dm<sup>-3</sup> para N e Ca. Considerando os teores totais desses elementos nos biossólidos da ETE Ilha e Sarapuí, respectivamente, os valores encontrado para P seriam equivalentes a 7.620 e 16.670 mg dm<sup>-3</sup>, para K 1.260 e 2.360 mg dm<sup>-3</sup>, para Mg 1.900 e 3.560 mg dm<sup>-3</sup>, para N 18.330 e 19.390 mg dm<sup>-3</sup> e para Ca 12.510 e 16.670 mg dm<sup>-3</sup>. Sendo assim, a concentração de nutrientes nos biossólidos estava bem acima da recomendada por Cruz et al. (2011) para *P. dubium*. Mesmo considerando que esses elementos não estavam totalmente disponíveis para as plantas durante o experimento, suas altas concentrações, os resultados de acúmulo desses nutrientes nos tecidos e de crescimento e qualidade demonstram que esses nutrientes foram disponibilizados em quantidades suficientes para a adequada nutrição das mudas.

Para *C. glandulosa* foi observado teores de nutrientes mais elevados nos substratos comerciais (Tabela 12), com exceção do Ca, cujo teor foi maior no biossólido da ETE Ilha, não diferiu entre o biossólido da ETE Sarapuí e o substrato formulado com turfa e foi menor no substrato a base de casca de pinus. O resultado para os teores de nutrientes demonstra a ocorrência do mesmo efeito de diluição observado para as mudas de *P. dubium*. Para o fator fertilização observou-se maiores teores de K e menores de Mg nos tratamentos que foram fertilizados.

Tabela 12: Teores e acúmulo de nutrientes nos tecidos de mudas de *Colubrina glandulosa* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

Variáveis	Substrato				Fertilização	
	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa	Com	Sem
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )	2,14 b	2,86 a	3,15 a	1,98 b	2,54 a	2,53 a
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	5,23 d	8,08 c	15,54 a	12,02 b	11,22 a	9,22 b
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )	13,81 a	10,63 b	11,64 b	5,11 c	10,18 a	10,41 a
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,47 c	4,33 b	4,34 b	8,15 a	4,20 b	4,95 a

P acumulado (mg muda <sup>-1</sup> )	18,15 b	35,21 a	1,55 c	3,77 c	15,55 a	13,80 a
--------------------------------------	---------	---------	--------	--------	---------	---------

Para cada fator (substratos e fertilização), médias seguidas de mesma letra na linha indicam que os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.  
ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Nos substratos com bio-sólidos das ETE Ilha e Sarapuí, os teores de N nos tecidos de *C. glandulosa* foram maiores quando não foi realizada fertilização com K, enquanto o acúmulo de N foi semelhante com e sem fertilização, descartando a possibilidade de efeito antagônico na absorção de N com a fertilização com K (Tabela 13). Para o Mg constatou-se aumento no acúmulo quando realizada a fertilização com K no bio-sólido da ETE Alegria, sugerindo efeito sinérgico entre o Mg e o K.

Tabela 13: Teor de N, acúmulo de N, K, Ca, Mg e eficiência na utilização de K de mudas de *Colubrina glandulosa* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

Parâmetro	Fertilização K	ETE Ilha	ETE Sarapuí	SC Pinus	SC Turfa
Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	Presente	19,01Ba	16,23 Bab	14,58 Ab	10,10 Ac
	Ausente	21,94 Aa	18,75 Ab	14,01 Ac	9,37 Ad
N acumulado (g muda <sup>-1</sup> )	Presente	179,80 Ab	223,11 Aa	7,58 Ad	15,30 Bc
	Ausente	164,49 Ab	206,42 Aa	6,43 Ad	21,18 Ac
K acumulado (g muda <sup>-1</sup> )	Presente	60,62 Ab	113,52 Aa	8,85 Ad	19,98 Bc
	Ausente	30,42 Bb	87,07 Ba	6,44 Bd	24,53 Ac
Ca acumulado (g muda <sup>-1</sup> )	Presente	134,41 Aa	139,18 Aa	5,79 Ab	7,97 Bb
	Ausente	100,56 Aa	122,59 Aa	5,57 Ac	11,21 Ab
Mg acumulado (g muda <sup>-1</sup> )	Presente	13,58 Ab	53,92 Aa	2,11 Ac	11,13 Bb
	Ausente	11,32 Bc	52,10 Aa	2,11 Ad	20,19 Ab
Taxa de utilização	Presente	1,84 Aa	1,41 Ba	0,03 Ab	0,11 Ab
	Ausente	1,50 Ba	1,66 Ab	0,03 Ac	0,20 Ac

Para letras minúsculas iguais na linha e letras maiúsculas iguais na coluna, os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.  
ETE = estação de tratamento de esgoto; SC Pinus = substrato comercial a base de casca de pinus; SC Turfa = substrato comercial a base de turfa de esfagno.

Na produção de mudas de *C. glandulosa* em ambos bio-sólidos foi verificado aumento no acúmulo de K quando realizada a fertilização. No bio-sólido da ETE Alegria esse aumento no acúmulo de K refletiu em maior crescimento e qualidade das mudas, conforme demonstra o resultado para a taxa de utilização de K, que foi maior com a aplicação do fertilizante. Embora não tenha sido observada tal resposta no crescimento das mudas para bio-sólido da ETE Sarapuí, o maior acúmulo do K nos tecidos demonstra efeito da fertilização realizada. A maior taxa de utilização de K nesse substrato foi observada no tratamento sem fertilizante, indicando a possibilidade de ocorrência de consumo de luxo quando realizada a fertilização.

Observa-se para ambas as espécies que a fertilização com K ocasionou aumento no conteúdo desse nutriente nos tecidos das mudas produzidas nos bio-sólidos de ambas ETEs. O potássio possui importância na rustificação de mudas florestais, devido sua atuação no controle estomático e nas relações hídricas (GOMES e PAIVA, 2006). Estudando a rustificação de mudas clonais de eucalipto, D'Avila et al. (2011) observaram que a fertilização com K produziu mudas mais capazes de tolerar condições adversas de campo, devido a seu maior diâmetro de colo, relação altura e diâmetro mais equilibrada e maiores de teores de K no tecido foliar. Tais resultados sugerem que as mudas produzidas com os bio-sólidos e fertilização com K estariam melhor rustificadas e preparadas para o plantio em campo.

Os teores e acúmulo de Mg foram altos para ambas espécies no substrato comercial a base de turfa, reflexo do alto teor (66,12 g kg<sup>-1</sup>) desse nutriente no material (Tabela 1). Segundo Vitt e Chee (1990) e Pakarinen et al. (1983) altos teores de sais (Ca, Mg, K e Na) podem ser encontrados em turfas de *Sphagnum* sp., o que é associado com as características químicas da água que alimenta o ambiente onde se forma o musgo. Dessa forma em áreas próximas ao mar ou de matriz rochosa alcalina existe a tendência de alto acúmulo de Mg na turfa.

Os maiores acúmulos de nutrientes foram observados nos substratos com biossólidos das ETEs Ilha e Sarapuí, para ambas as espécies. Outros autores também observaram maior acúmulo de nutrientes em substratos com biossólido, como Cunha et al. (2006) para *Acacia magium* e *Acacia auriculiformis*, Scheer et al. (2012a) para *Lafoensia pacari*, Siqueira et al. (2018) para *Lafoensia glyptocarpa* e Rocha et al. (2013) para *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Esses resultados, assim como o observado no presente trabalho, demonstram a maior disponibilidade de nutrientes nos biossólidos em relação a substratos de diferentes formulações e materiais, o que ocasiona maior absorção e acúmulo de nutrientes nos tecidos das mudas. Considerada por Grossnickle (2012) e Grossnickle e MacDonald (2018) como um dos principais parâmetros de qualidade para mudas florestais, a nutrição adequada é de fundamental importância para que as mudas superem o estresse e se estabeleçam após o plantio em campo, principalmente nos últimos anos em que as chuvas vêm sendo mal distribuídas em boa parte do Brasil.

### 3.3. Experimento de campo

Os tratamentos que obtiveram melhores resultados em viveiro, os biossólidos da ETE Sarapuí e ETE Ilha, apresentaram também maior sobrevivência das mudas aos 30 e 120 dias após o plantio em campo (Tabela 14). Conforme relatado por Carneiro (1995) e por Grossnickle (2012) mudas com melhores características morfológicas e nutricionais, conforme as produzidas em ambos biossólidos no presente estudo, tendem a apresentar maior sobrevivência após plantio em campo.

Tabela 14: Taxa de sobrevivência (%), em duas épocas, após o plantio das mudas de *Peltophorum dubium* e *Colubrina glandulosa* produzidas em diferentes substratos com e sem fertilização de K

Tratamentos	<i>Peltophorum dubium</i>		<i>Colubrina glandulosa</i>	
	30 dias	120 dias	30 dias	120 dias
SC Turfa sem K	89	61	56	44
SC Pinus sem K	78	56	50	33
ETE Ilha sem K	100	83	100	78
ETE Sarapuí sem K	94	83	89	83
Média sem K	90	69	74	50
SC Turfa com K	89	72	67	39
SC Pinus com K	72	56	61	61
ETE Ilha com K	100	83	100	83
ETE Sarapuí com K	94	94	100	94
Média com K	89	78	82	68

Considerando como adequada taxa de sobrevivência em campo de no mínimo 80% das mudas plantadas, conforme recomendado pelo INEA (RIO DE JANEIRO, 2014) para o estado do Rio de Janeiro, apenas três tratamentos (ETE Sarapuí sem K, ETE Ilha com K e ETE Sarapuí com K) atingiram essa sobrevivência para ambas as espécies. Para *P. dubium*,

120 dias após o plantio, a taxa de sobrevivência indica que os tratamentos ETE Ilha sem K, ETE Sarapuí sem K, ETE Ilha com K e ETE Sarapuí com K produziram mudas adequadas para o plantio. Para o *C. glandulosa*, os tratamentos ETE Sarapuí sem K, ETE Ilha com K e ETE Sarapuí com K apresentaram mudas capazes de superar as adversidade pós-plantio.

Para ambas espécies e, principalmente aos 120 dias após o plantio, foi observada em média maior sobrevivência das mudas em que se aplicou fertilização com K. O potássio é o principal nutriente na rustificação de mudas florestais, sua importância no controle estomático e nas relações hídricas podem conferir às mudas maior resistência a secas e geadas (GOMES e PAIVA, 2006). Acredita-se que o maior acúmulo desse nutriente nos tecidos de mudas que receberam fertilização com K ocasionou maior sobrevivência em campo para ambas espécies aos 120 dias após plantio.

A sobrevivência das mudas originárias de ambos os biossólidos foi semelhante. A fertilização com K nesses substratos favoreceu a sobrevivência, principalmente para *C. glandulosa* e pouco para *P. dubium*. Como a sobrevivência da muda em campo é o objetivo final de sua produção e plantio, independente dos resultados observados para crescimento e qualidade em viveiro, a fertilização complementar com K se mostrou benéfica para ambas as espécies.

Considerando a necessidade de calibração do IQD para utilização em espécies nativas, os valores mínimos do presente trabalho, para tratamentos que obtiveram 80% ou mais de sobrevivência, foram de 2,12 para *P. dubium* e 1,86 para *C. glandulosa*. Esses valores seriam suficientes para indicar qualidade de mudas dessas respectivas espécies. Já valores menores ou iguais a 0,31 para *P. dubium* e 1,24 para *C. glandulosa* resultaram em sobrevivência menor que a recomendada (80%). Deve-se considerar que recomendações quanto a esse parâmetro podem variar em relação, dentre outros fatores, as condições de solo e clima do local de plantio. No presente estudo havia um solo bem estruturado fisicamente e as precipitações foram regulares durante os 120 dias de acompanhamento após o plantio. De acordo com Carneiro (1995) e Gomes e Paiva (2006), mudas com IQD a partir 0,20 apresentam qualidade para plantio em campo, tal recomendação não seria adequada para as espécies e condições avaliadas no presente trabalho. Para a espécie *P. dubium*, Cabreira (2017a) observaram que mudas com o IQD de 1,31 obtiveram sobrevivência acima de 80% aos cinco meses após o plantio, valor inferior ao observado na atual pesquisa. Para *C. glandulosa* não foram encontrados outros estudos para referência.

Na Tabela 15 observa-se que, para ambas espécies, houve diferença significativa para altura aos 120 dias após o plantio no fator substrato. Para a *C. glandulosa* também foi observado diferença significativa para o crescimento relativo no fator substrato. Para o fator fertilização não foi observada diferença entre os tratamentos nas variáveis avaliadas. A interação entre os fatores também não foi significativa.

Tabela 15: Altura no plantio (HP), altura aos 120 dias após o plantio (H120) e crescimento relativo em altura entre os dois momentos (CR) das mudas de *Peltophorum dubium* e *Colubrina glandulosa* produzidas em substratos com e sem fertilização de K

Substratos	<i>Peltophorum dubium</i>			<i>Colubrina glandulosa</i>		
	HP (cm)	H120 (cm)	CR	HP (cm)	H120 (cm)	CR
ETE Ilha	39,0	51,2 a	0,10 a	26,7	37,8 b	0,09 ab
ETE Sarapuí	36,3	50,1 a	0,11 a	37,4	52,5 a	0,12 a
SC Pinus	13,1	29,0 b	0,13 a	7,0	22,8 c	0,13 a
SC Turfa	11,9	27,8 b	0,13 a	11,4	18,5 c	0,06 b
<b>Fertilização com K</b>						
Presente	24,5	41,2 a	0,12 a	21,3	37,6 a	0,12 a
Ausente	25,6	41,2 a	0,11 a	20,0	34,0 a	0,10 a

Para cada fator (substratos e fertilização), médias seguidas de mesma letra na coluna significam que os tratamentos não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Para *C. glandulosa* o maior crescimento relativo em altura foi observado em mudas originárias dos biossólidos, comprovando o observado por Grossnickle e MacDonald (2018) que mudas com melhores características morfológicas e mais bem nutridas, apresentam maior crescimento em campo. Para mudas de *P. dubium*, o crescimento relativo (CR) foi semelhante entre os tratamentos. O que indica que a maior altura no momento do plantio para as mudas produzidas nos biossólidos influenciou o resultado da altura aos 120 dias após o plantio. Esses dados sugerem acompanhamento mais prolongado para avaliar a influência dos tratamentos em viveiro no crescimento das mudas em campo.

Com base nos dados do presente trabalho, considerando uma situação de produção de mudas, onde o biossólido da ETE Ilha e ou Sarapuí seriam utilizados na produção de mudas de várias espécies arbóreas com finalidade de restauração florestal da Mata Atlântica, a fertilização complementar com K seria recomendada. Conforme observado por Silva et al. (1997) a demanda por esse nutriente varia de acordo com a espécie, o que inclusive foi observado entre as duas espécies avaliadas no presente estudo. Dessa forma, para garantir o suprimento de potássio para todas as espécies produzidas em tal viveiro, a fertilização com K seria indicada.

#### 4. CONCLUSÕES

Os biossólidos das ETE Alegria, Ilha e Sarapuí apresentaram características químicas desejáveis, contendo maiores teores de macro e micronutrientes do que os substratos comerciais avaliados.

Considerando a produção de mudas florestais em tubetes, os substratos comerciais apresentaram melhores características físicas, principalmente baixa densidade e alta porosidade, do que os biossólidos. Dentre os biossólidos, o da ETE Ilha apresentou melhores características físicas para utilização na produção de mudas.

O biossólido da ETE Alegria apresentou características físicas inadequadas para seu uso como substrato, principalmente baixa capacidade de drenagem, que comprometeu a sobrevivência e formação das mudas em viveiro.

Na produção de mudas de *Peltophorum dubium* e *Colubrina glandulosa*, em comparação com os substratos comerciais testados, a utilização dos biossólidos das ETE Ilha e Sarapuí resultou em maior crescimento e qualidade para as mudas de ambas espécies. As mudas produzidas nos biossólidos também apresentaram melhor estado nutricional, refletindo em maior sobrevivência e crescimento após plantio em campo.

Considerando os dados de crescimento e qualidade, a fertilização complementar com K é recomendada para a produção de mudas de *Colubrina glandulosa* no biossólido da ETE Alegria, não demonstrando diferença nos demais substratos. Na produção de mudas de *Peltophorum dubium* a fertilização com K não demonstrou diferença para nenhum substrato. De modo geral, a fertilização com K promoveu maior acúmulo do elemento nos tecidos das mudas e foi benéfica para a sobrevivência após plantio em campo, sendo justificada sua aplicação na produção de mudas.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas



de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.27, n.4, p.1179-1190, 2017a.

ABREU, A. H. M.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S.; ALONSO, J. M. Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.21, n.2, p.83-87, 2017b.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAP, 2010, 407 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 349p.

BONNET, B. R. P.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B.; NOGUEIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; BARBIERI, S. J. Effects of substrates composed of biosolids on the production of *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* and *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Water Science and Technology**. Londres, v.46, n.10, p.239-246, 2002.

BRASIL – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF (2006 ago. 30); n.167:141-146.

BRASIL – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa SDA N.º 31 de 23 de outubro de 2008. Alteração dos subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2 da Instrução Normativa n.º 17 de 21/05/2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF (2008 out. 24).

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**. Curitiba, v.47, n.2, p.165-176, 2017a.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ARAÚJO, E. J. G.; SILVA, E. V.; LISBOA, A. C.; LOPES, L. N. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando biossólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. **Revista Scientia Agraria**. Curitiba, v.18, n.2, p.30-42, 2017b.

CAI, H.; CHEN, T.; LIU, H.; GAO, D.; ZHENG, G.; ZHANG, J. The effect of salinity and porosity of sewage sludge compost on the growth of vegetable seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 381-386, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**. Viçosa, v.36, n.6, p.1009-1017, 2012b.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**. Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras, Volume 1**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Relatório de Insumos Agropecuários**, Grupo Fertilizante, Sub-Grupo Químico, UF SP, Ano 2018. Brasília: CONAB, 2018.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J. C. L. Macronutrientes na produção de mudas de canafístula em argissolo vermelho amarelo da região da Zona da Mata, MG. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.21, n.3, p.445-457, 2011.

DALPISOL, M.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; POGGERE, G. C.; BITTENCOURT, S.; BARBOSA, J. Z. Zinc, copper and manganese availability in soils treated with alkaline sewage sludge from Paraná state (Brazil). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.41, n.1, p.85-97, 2017.

DAVIDE, A. C.; MELO, L. A.; TEIXEIRA, L. A. F.; PRADO, N. J. S.; FIORINE, R. A.; CARVALHO, R. P. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares**. Lavras: Editora UFLA, 2015. 636p.

D'AVILA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa, v.35, n.1, p.13-19, 2011.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.21, n.2, p.224-233, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pines seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, Ontario, v.36, p.10-13, 1960.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 186p.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LACERDA, L. C.; GONÇALVES, E. O. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.4, n.4, p.342-351, 2013.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.209-214, 2005.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 116 p.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. Águas de Lindóia, 1996. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. D.; NETO, S. P. M.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plants attributes. **New Forests**, Dordrecht, v.43, n.1, p.711-738, 2012.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plants attributes. **New Forests**, Dordrecht, v.49, n.1, p.1-34, 2018.

GUERRERO, F.; GASCÓ, J. M.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. **Journal of Plant Nutrition**. Londres, v.25, n.1, p.129–141, 2002.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, p.1069-1076, 2004.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; GASCÓ, A. M.; GASCÓ, J. M.; GUERRERO, F. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. **Bioresource Technology**. Amsterdam, v.96, n.1, p.125–131, 2005.

HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; NUNES, C. A.; BETTIOL, W.; GUERREIRO, M. C. Physico-chemical evaluation of organic wastes compost-based substrates for eucalyptus seedlings growth. **Communications in soil science and plant analysis**. Londres, v.47, n.5, p.581-592, 2016.

INGELMO, F.; CANET, R.; IBÁÑEZ, M. A.; POMARES, F.; GARCIA, J. Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. **Bioresource Technology**. Amsterdam, v.63, n.1, p.123-129, 1998.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 2002. 171p.

- KRATKA, P. C.; CORREIA, C. R. M. A. Crescimento inicial de aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em diferentes substratos. **Revista Árvore**. Viçosa, v.39, n.3, p.551-559, 2015.
- KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Utilização de resíduos urbanos e agroflorestais para a produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Mimosa scabrella*. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v.20, n.4, p.530-537, 2013.
- KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; MELLEK, J. E. Physic-chemical properties and substrate formulation for *Eucalyptus* seedlings production. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.45, n.113, p.63-76, 2017.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Atributos químicos e físicos de dois substratos para produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p.358-367, 2008.
- LÓPEZ, R.; CABRERA, F.; MADEJÓN, E.; SANCHO, F.; ÁLVAREZ, J. M. Urban composts as an alternative for peat in forestry nursery growing media. **Global Science Books: Dynamic Soil, Dynamic Plant**. v.2, n.1, p.60-66, 2008.
- MAÑAS, P.; CASTRO, E.; VILA, P.; HERAS, J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. **New Forest**. Dordrecht, v.37, n.1, p.295-311, 2009.
- MORAES, L.F.D., ASSUMPÇÃO, J.M., PEREIRA, T.S., LUCHIARI, C. **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. p. 84.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, p.385-392, 2004.
- NÓBREGA, R.S.A.; VILAS BOAS, R.C.; NÓBREGA, J.C.A; PAULA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.239-246, 2007.
- OSTOS, J. C.; LÓPEZ-GARRIDO, R.; MURILLO, J. M.; LÓPEZ, R. Substitution of peat for municipal solid waste and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. **Bioresource Technology**. Amsterdam, v.99, n.6, p.1793-1800, 2008.
- PAKARINEN, P.; TOLONEN, K.; HEIKKINEN, S.; NURMI, A. Accumulation of metals in Finnish raised bogs. **Ecological Bulletins**. Lund, v.35, n.1, p.377-382, 1983.
- REIS, M.G.F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n.2, p.149-162, 1985.

RIBEIRO, H. M.; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F. Fertilization of *Pinus pinea* L. seedlings with a sewage sludge-based compost. **Waste Management & Research**. Thousand Oaks, v.27, n.1, p.112-118, 2009.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Resolução nº 89/2014. Dispõe sobre as proporções mínimas aplicáveis para reposição florestal, decorrentes do corte ou supressão de vegetação pertencente às formações florestais nativas e ecossistemas associados do Bioma Mata Atlântica, bem como de intervenções em Áreas de Preservação Permanente - APP, para fins de Licenciamento Ambiental e/ou de Autorização para Supressão de Vegetação Nativa - ASV no Estado do Rio de Janeiro. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 05 jun 2014, n. 101, p. 22-24.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.33, n.73, p.27-36, 2013.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos a base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.38, n.88, p.637-644, 2010.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.19, n.1, p.55-65, 2012a.

SHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**. Lavras, v.18, n.4, p.613-621, 2012b.

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E. F.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais nativas em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.32, n.2, p.205-212, 1997.

SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico**. 1998. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Silvicultura) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SIQUEIRA, D. P.; CARVALHO, G. C. M. W.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**. Curitiba, v.48, n.2, p.277-284, 2018.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C. V. Lodos de esgoto: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. 470 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2013, 918 p.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.64, n.1, p.150-162, 2003.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**. Viçosa, v.38, n.4, p.657-665, 2014.

VIEIRA, A. H.; RICCI, M. S. F.; RODRIGUES, V. G. S.; ROSSI, L. M. B. Efeito de diferentes substratos para produção de mudas de freijó-louro *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Boletim de Pesquisa, **EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre**, Rio Branco, n. 25, 12 p., 1998.

VITT, D. H.; CHEE, W. L. The relationships of vegetation to surface water chemistry and peat chemistry in fens of Alberta, Canada. **Plant Ecology**. Basel, v.89, n.2, p.87-106, 1990.

ZAPATA, N.; GUERRERO, F.; POLO, A. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de substratos de cultivo. **Agricultura Técnica**, v.65, n.4, p.378-387, 2005.