

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

**DISSERTAÇÃO**

**BIOSSÓLIDO NA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS DA**  
**MATA ATLÂNTICA**

**ALAN HENRIQUE MARQUES DE ABREU**

**2014**



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

**BIOSSÓLIDO NA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS DA**  
**MATA ATLÂNTICA**

**ALAN HENRIQUE MARQUES DE ABREU**

*Sob a Orientação do Professor*

**Paulo Sérgio dos Santos Leles**

*e co-orientação da Professora*

**Érika Flávia Machado Pinheiro**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração de Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica, RJ

Agosto de 2014

634.956

A162b

T

Abreu, Alan Henrique Marques de, 1989-  
Biossólido na produção de mudas  
florestais da Mata Atlântica / Alan  
Henrique Marques de Abreu - 2014.  
79 f.: il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos  
Leles.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais e  
Florestais.

Inclui bibliografias.

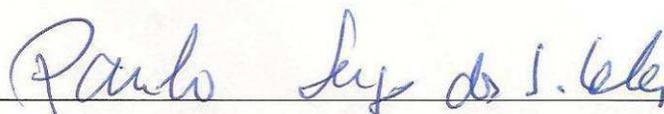
1. Reflorestamento - Teses. 2. Mudas -  
Produção - Teses. 3. Lodo residual como  
fertilizante - Teses. 4. Adubos e  
fertilizantes - Teses. 5. Solos florestais  
- Fertilização - Teses. I. Leles, Paulo  
Sérgio dos Santos, 1966-. II. Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de  
Pós-Graduação 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.

ALAN HENRIQUE MARQUES DE ABREU

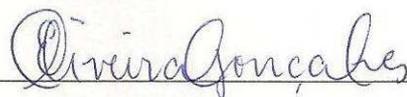
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08 /08 /2014



Paulo Sérgio dos Santos Leles / Prof. Dr. UFRRJ

Orientador



Elzimar de Oliveira Gonçalves / Prof. Dr<sup>a</sup> UFES

Membro



Guilherme Mantandon Chaer / Pesq. Dr. Embrapa Agrobiologia

Membro

*Dedico a todos aqueles que acreditam  
que o mundo pode ser muito melhor...*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por estar sempre presente ao longo da minha vida, sem ele nada seria possível.

Agradeço especialmente a meus pais, pessoas simples e batalhadoras que sempre se esforçaram ao máximo para proporcionar o melhor para mim e meus irmãos, sempre nos ensinando os valores familiares que levarei por toda minha vida.

Aos meus irmãos Juliana, Daiana, Vinicius, Graziela, Gabriel e Eduarda, com quem aprendi importantes lições de convivência, que foram importantíssimas nesta caminhada e que serão lembradas para sempre.

À mulher da minha vida, Diana, que sempre me apoiou e me incentivou, dividindo comigo todos os momentos que passei, sejam de alegria ou tristeza.

Aos meus sogros, Francisco e Tânia, que me apoiaram nesta nova fase de aprendizado, sempre dando força e palavras de incentivo.

Aos meus primos Fernando, Dalva, Fernando Jr. e Amanda, a quem tenho um afeto especial, minha segunda família que sempre conspiraram a meu favor, acreditando no meu potencial.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter me formado em Engenharia Florestal e me possibilitado ingressar no Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

A Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), representada especialmente pelos amigos Alcione Duarte, Elton Abel, Adriano Gama e Cesar Selieri, pelo apoio e incentivo a pesquisa e busca por novos desafios.

A Associação de Pró – Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), que através do Comitê Guandu financiou parte desta pesquisa.

A CAPES, representando o povo brasileiro, pela concessão da Bolsa de estudo.

A PCH Santa Rosa S/A pela instalação e manutenção da fase de campo.

Aos meus amigos, Pedro, Alysson, Ricardo, Elton, Gilsonley, Weverton, aos amigos do mestrado, e aos acumulados durante a caminhada, pela amizade, força e companheirismo demonstrados. Sem eles a caminhada seria muito mais árdua.

Um agradecimento especial ao amigo Ricardo Rodrigues de Oliveira, que sempre mostrou disposição e companheirismo na execução das diferentes fases deste projeto.

Agradeço ao amigo e professor Paulo Sérgio, pela orientação, amizade e por transmitir suas experiências e sabedoria através de seus valiosos ensinamentos que serão lembrados pelo resto da vida.

Ao Professor Lucas Amaral pelos ensinamentos, amizade e empenho que possibilitou o desenvolvimento das pesquisas no viveiro Luiz Fernando Oliveira Capellão - UFRRJ.

A Profa. Érika Flávia pelos ensinamentos e incentivo.

A Professora Elzimar Gonçalves, a quem tive o prazer de ser aluno da sua primeira turma no CEFET – Rio Pomba e me influenciou a escolher a profissão que amo e exerço com prazer, e passados 8 anos aceitou participar da banca avaliadora, dando importantes contribuições.

Agradeço também ao Pesquisador Guilherme Chaer, que sempre incentivou o desenvolvimento de um olhar crítico durante sua disciplina, a qual tive o prazer de cursar na pós graduação, e por aceitar participar da Banca.

Ao Técnico Sebastião Corrêa da Costa pelo auxílio nas atividades de viveiro

A toda a equipe do LAPER, inclusive os que já se formaram, pelos ensinamentos passados. Em especial aos amigos Tafarel, Gabriel, Gerhard, Flávio, Aline, Jussara e Avner que ajudaram em algumas das fases do projeto.

A todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

ABREU, Alan Henrique Marques de. Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O resíduo do tratamento do esgoto é um material denominado lodo de esgoto rico em matéria orgânica e nutrientes, mas que sem o devido tratamento pode ser prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente. Esse material devidamente tratado e estabilizado é denominado biossólido e pode ser utilizado para o crescimento das plantas. Para a disposição agrícola florestal, o biossólido deve atender aos parâmetros estipulados pela Resolução CONAMA nº 375/2006. O presente trabalho tem como objetivo verificar o potencial técnico de reciclagem do biossólido, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Alegria - RJ, para a produção de mudas florestais da Mata Atlântica. Inicialmente, foi realizada a caracterização química e biológica do biossólido, de acordo com a resolução CONAMA, e o mesmo atendeu aos parâmetros da legislação, sendo classificado como classe A, de excelente qualidade para a disposição agrícola florestal. Na segunda etapa foram testadas diferentes proporções do biossólido e de um substrato comercial, na produção de mudas de quatro espécies florestais da Mata Atlântica, com o objetivo de avaliar o potencial técnico do biossólido na produção dessas mudas. A adição do biossólido ao substrato comercial proporcionou maior crescimento e qualidade das mudas, indicando que a destinação do biossólido para produção de mudas florestais pode ser, não apenas uma alternativa ambientalmente correta, mas também tecnicamente viável. Diante dos resultados, foi testada ainda a efetividade do biossólido e do substrato comercial sob diferentes dosagens de Monoamônio fosfato em cobertura na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi e no crescimento dessas mudas no campo. As mudas produzidas com biossólido apresentaram qualidade superior na fase de viveiro. No campo, as altas doses da adubação de cobertura favoreceram o crescimento inicial das mudas de *Schinus terebinthifolius* e o tratamento com maior teor de nutrientes nos tecidos apresentou o maior crescimento relativo e incremento em altura e diâmetro, igualando-se aos parâmetros de qualidade das mudas produzidas com biossólido. Conclui-se que o biossólido apresentou elevado potencial na produção de mudas florestais da Mata Atlântica, podendo inclusive ser utilizado na proporção 100%.

**Palavras chave:** lodo de esgoto; substratos; fertilização.

## ABSTRACT

ABREU, Alan Henrique Marques de. **Biosolids on seedling production of Atlantic Rainforest**. 2014. 79 p. Dissertation (Master Science in Environmental and Forestry Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The residue of sewage treatment is a material called sewage sludge, a material rich in organic matter and nutrients, but without proper treatment can be harmful to human health and the environment. This duly treated and composted materials (biosolids) contains in its composition organic matter and nutrients essential for plant growth. Thus arises the need to properly dispose this stuff so you do not miss the advances achieved in the treatment process. Provision for farm forestry, sewage sludge must be stabilized (biosolids), and meet the criteria stipulated by CONAMA Resolution N<sup>o</sup>. 375/2006. This study aims to determine the technical potential for recycling of biosolids from the ETE Alegria - RJ for production of forest seedlings of Atlantic Forest. Initially chemical and biological characterization of biosolids according to CONAMA was performed, and even met the parameters of the law, being classified as Class A, excellent quality for forest farm layout. In the second step were tested different ratios of biosolids and commercial substrate, production of seedlings of four forest species of the Atlantic Forest, with the objective of evaluating the technical potential of biosolids on seedling production. The addition of biosolids to commercial substrate provided better growth and quality of seedlings, indicating that the disposal of biosolids for seedling production can be not only an environmentally friendly alternative, but also technically and economically feasible. Given the results, it was still done the comparison of biosolids and commercial substrate under different dosages of fertilizer coverage in seedlings of *Schinus terebinthifolius* Raddi and growth of these seedlings in the field. The seedlings with superior quality biosolids presented at the nursery. In the field, the high doses of manuring favored the initial growth of seedlings of *Schinus terebinthifolius* and treatment with higher nutrient content in the tissues showed the highest relative growth and increase in height and diameter, matching the parameters of quality seedlings with biosolids. Therefore, it is concluded that the sludge has high potential for seedling production of the Atlantic, and can even be used in proportion to 100%.

**Key words:** sewage sludge; substrate; fertilization.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVO GERAL .....	2
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. Biossólido .....	3
3.2. Disposição final .....	3
3.3. Aproveitamento agrícola florestal .....	4
3.4. Riscos ambientais .....	5
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
CAPITULO I.....	9
RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	10
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4. CONCLUSÃO .....	18
5. REFERENCIAS BIBLIOFRÁFICAS.....	18
CAPITULO II.....	21
RESUMO .....	22
ABSTRACT .....	22
1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.1. Fase de Viveiro .....	24
2.1.1. Localização .....	24
2.1.2. Delineamento experimental .....	24
2.1.3. Descrição dos substratos .....	24
2.1.4. Produção de mudas .....	25
2.1.5. Avaliação morfológica.....	26
2.2. Caracterização dos substratos .....	26
2.3. Fase de campo.....	27
2.3.1. Caracterização da área.....	27
2.3.2. Delineamento experimental .....	29
2.3.3. Implantação e Manutenção dos experimentos .....	29
2.3.4. Avaliações.....	29
2.4. Análise Estatística .....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
3.1. Fase de Viveiro.....	30
3.1.1. Caracterização dos substratos .....	30
3.1.2. Produção de mudas .....	32
3.2. Fase de campo .....	39
4. CONCLUSÃO .....	41
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
CAPITULO III .....	47
RESUMO .....	48
ABSTRACT .....	49

1.	INTRODUÇÃO.....	50
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1.	Produção de mudas.....	51
2.2.	Teor e conteúdo de nutrientes nas mudas.....	53
2.3.	Sobrevivência e crescimento inicial em campo.....	53
2.4.	Análise estatística .....	55
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
3.1.	Produção de mudas .....	55
3.2.	Teor e conteúdo de nutrientes nas mudas .....	58
3.3.	Sobrevivência e crescimento inicial em campo.....	64
4.	CONCLUSÃO .....	66
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda da sociedade pelas melhorias das condições ambientais e humanas nas áreas urbanas tem exigido grandes investimentos em políticas públicas que compatibilizem o crescimento populacional com a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, as Estações de tratamento de esgotos (ETE's) possuem papel fundamental, coletando resíduos domiciliares e industriais potencialmente nocivos à saúde humana, tratando-os, e dessa forma evitando que todos os dias uma parcela substancial de poluentes chegue aos corpos hídricos (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

No processo de tratamento de esgotos, mais de 99% do material recebido nas ETE's é composto por água, que após o devido tratamento é novamente devolvida aos mananciais. O resíduo desse processo trata-se de um material denominado lodo de esgoto, que apesar de ser rico em matéria orgânica e em nutrientes, sem o devido tratamento e destinação final pode oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas exequíveis e sustentáveis para que esse resíduo não se transforme em um novo problema ambiental.

O lodo de esgoto devidamente tratado e estabilizado é denominado biossólido. Devido à sua composição rica em matéria orgânica, pode ser utilizado para o crescimento das plantas (QUINTANA et al., 2009). A sua aplicação agrícola florestal constitui uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final. No Brasil, as principais destinações desse resíduo são os aterros sanitários, reuso industrial, incineração, construção civil e etc., onde, na maioria das vezes essas práticas acabam imobilizando os nutrientes contidos neste material.

O lodo de esgoto estabilizado (biossólido) já vem sendo estudado no Brasil há alguns anos, focando principalmente na sua destinação agrícola como condicionador do solo (RICCI et al., 2010) e/ou como fertilizante na recuperação de áreas degradadas (MODESTO et al., 2009) e em plantações agrícolas e florestais (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Uma outra alternativa em potencial para a utilização desse resíduo pode ser o uso como componente de substratos destinados à produção de mudas florestais (PAIVA et al., 2009; DUARTE et al., 2011; SCHEER et al., 2012).

Os altos teores de nutrientes e matéria orgânica presentes nos biossólidos podem promover significativa economia de fertilizantes químicos aos viveiristas, assim como, o aumento na qualidade das mudas produzidas (TRIGUEIRO; GUERRINE, 2003). Dessa forma, o uso de biossólidos na produção de mudas florestais pode significar não apenas uma alternativa de interesse ambiental como também uma alternativa de interesse econômico.

No caso de regiões com pouca aptidão agropecuária, como o Estado do Rio de Janeiro e com isso, baixa oferta de esterco de animais, o biossólido pode surgir como uma fonte alternativa de matéria orgânica para a composição de substratos para produção de mudas florestais. Nessas situações, deve-se dar prioridade de uso para os substratos que constituem resíduos industriais ou urbanos, pois, além de diminuir o problema ambiental, geralmente são uma garantia de fornecimento de matéria-prima à longo prazo e com baixo custo (CALDEIRA et al., 2000).

O biossólido, normalmente, apresentam composição variável, quanto ao teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e de metais pesados, em função dos hábitos alimentares da população, formas de tratamento e sazonalidades (NÓBREGA et al., 2007). Dessa forma, são necessários estudos para ampliar o conhecimento a cerca das propriedades químicas, físicas e biológicas desses resíduos, visando o desenvolvimento de estratégias de disposição de forma consciente e sustentável, de acordo com as características inerentes do biossólido.

## 2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial técnico da utilização do biossólido proveniente da ETE Alegria para a produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica.

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Caracterizar química e biologicamente o biossólido proveniente da ETE Alegria, e verificar se o mesmo atende às exigências da Resolução CONAMA nº 375 / 2006;
- ii) Verificar o potencial do biossólido para a composição de substratos na produção de mudas florestais da Mata Atlântica;
- iii) Comparar o crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. produzidas com biossólido e com um substrato comercial, sob diferentes concentrações de monoamônio fosfato (MAP), em adubação de cobertura e avaliar o crescimento destas pós plantio em campo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Biossólido

As estações de tratamento de esgoto sanitário (ETEs) recebem todos os dias esgotos cuja composição média aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% são inorgânicos (areia, sais, metais, etc.) (ANDREOLI, 1999). A água recebe o devido tratamento e é devolvida aos mananciais, restando nas estações um resíduo denominado lodo de esgoto.

Em sua composição o lodo de esgoto além de ser rico em matéria orgânica e nutrientes, também pode apresentar, dependendo da sua origem e tipo de tratamento, diversos poluentes como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem, atributos que devem ser verificados com muito cuidado (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Tais fatores foram alicerces para a resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), através da qual 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.

Visando o uso agrícola, após transformações microbianas e devida higienização e estabilização, o lodo de esgoto pode passar a ser designado como biossólido, termo que passou a ser utilizado na maioria dos países e em várias normas no início da década de 80. Esta denominação tem como objetivo tirar a conotação pejorativa associada ao termo lodo de esgoto e promover o conceito de que este material não é simplesmente um resíduo e que pode e deve ser reutilizado ou reciclado em sistemas de usos benéficos (GUEDES et al., 2006).

O termo biossólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atendam as condições das normas para uma utilização segura na agricultura. O lodo que não tenha recebido tratamento adequado para controle de poluentes e patógenos não é considerado biossólido (POGGIANI et al., 2000).

#### 3.2. Disposição final

Segundo Bettiol; Camargo (2006), a disposição final do lodo de esgoto é uma etapa problemática no processo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto, podendo apresentar um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento.

As alternativas para a disposição final do lodo de esgoto devem estar contempladas no planejamento das ETE's e devem atender aos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais. Porém, muitas vezes são esquecidos os aspectos técnicos e ambientais, sendo priorizadas pelas ETE's apenas as alternativas de menor custo e que atendam a legislação vigente (ALAMINO, 2010). Existem várias formas de destinação final para o lodo, dentre elas encontram-se a disposição em aterros sanitários como resíduo (ROSA; SCHOEDER, 2009), como fonte de fertilização na cobertura de taludes dos aterros sanitários (CASTILHOS JR et al., 2009), na reciclagem agrícola florestal (MANZOCHI, 2008; BITTENCOURT et al., 2009), como condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas (SELIVANOVSKAYA et al., 2003; COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006;), para a geração de energia (VANHAANDEL, 2009), reuso industrial (LESSA, 2005), além de outras destinações tais como para *landfarming*, incineração e disposição oceânica (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Atualmente a principal forma de disposição dos lodos de esgotos gerados no Brasil corresponde à disposição em aterros sanitários. Esse apresenta como potenciais vantagens

baixo custo, flexibilidade de receber quantidades variáveis de lodo, absorção do excedente de outras demandas de destinação final, operação independente de fatores externos, menos exigências em qualidade do lodo (ROSA; SCHOEDER, 2009). Por outro lado, também apresenta desvantagens como: diminuição da vida útil dos aterros, o que se agrava diante da escassez de áreas aptas à construção de novos aterros, produção de gases e percolados e dificuldade de reintegração da área após a desativação (ROSA; SCHOEDER, 2009). Outra desvantagem da disposição de lodos em aterros sanitários compreende a imobilização de grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes essenciais para plantas (QUINTANA et al., 2009), elementos que são requeridos em grandes quantidades na produção agrícola e florestal e que atualmente são importados na forma de fertilizantes químicos. Desta forma, a utilização para fim agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes do ponto de vista sustentável, uma vez que esse resíduo, poderá ser utilizado como um insumo, gerando estímulo para que mais esgotos urbanos sejam tratados, antes de promoverem a eutrofização e poluição dos rios (LIRA et al., 2008).

A reciclagem agrícola florestal é a forma de disposição final do lodo de esgoto que pode ser considerada mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que adequadamente aplicada (ANDREOLI, 1999). A utilização de lodo de esgoto como biossólido, aproveitando seu potencial fertilizante e condicionador de solos para promover o crescimento de plantas, representa a possibilidade de associar ganhos para o produtor, através do aumento da produtividade das culturas e de redução do uso de fertilizantes minerais, com vantagens inclusive para os geradores de lodo, através da efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo (GUEDES et al., 2006).

### 3.3. Aproveitamento agrícola florestal

O biossólido encerra na sua composição matéria orgânica, que é fonte de nutrientes, e elementos benéficos necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Estes, 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 perdas por lixiviação (MELO; MARQUES, 2000).

Normalmente, as aplicações nos solos de biossólidos que estejam em conformidade com os parâmetros exigidos pela legislação, promovem melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Do ponto de vista químico, o produto final do tratamento do esgoto é rico em matéria orgânica e pode fornecer nitrogênio às plantas em quantidades satisfatórias, além de outros elementos como fósforo, enxofre, cálcio e micronutrientes (SANTOS, 2009). Adicionalmente, quando aplicado o biossólido (principalmente aqueles alcalinos) no solo pode ocorrer a diminuição da acidez, assim como o aumento da CTC e da disponibilidade de macro e micronutrientes, melhorando a sua fertilidade. Em solos tropicais muito intemperizados, onde a capacidade de troca catiônica (CTC) é extremamente dependente da matéria orgânica, o uso agrícola deste resíduo é ainda mais atrativo (MELO; MARQUES, 2000).

Do ponto de vista das propriedades físicas, o biossólido, pelo efeito da matéria orgânica nele contida, pode funcionar como condicionador de solos e refletir em melhoria da estrutura física, aumentando a agregação das partículas (estabilidade de agregados), favorecendo a infiltração de água no perfil, a aeração e a retenção de umidade e diminuindo as perdas por erosão (COLODRO et al., 2007).

No setor florestal as principais utilizações dos biossólidos correspondem ao uso como fertilizante e condicionador de solos em plantios comerciais (SILVA et al., 2008), em recomposição florestal (CALDEIRA JR et al., 2009) e na recuperação de áreas degradadas (BORGES et al., 2009; ALAMINO, 2010). Além de sua utilização como componente de

substratos para produção de mudas florestais nativas (NÓBREGA et al., 2007; SCHEER et al., 2010) e exóticas (GARCIA et al., 2009; CALDEIRA et al., 2012; KRATZ; WENDLING, 2013). A utilização de biossólido como substrato pode propiciar um melhor aproveitamento de nutrientes pela planta, em relação à adubação mineral, visto que os mesmos estão na forma orgânica e são liberados gradativamente, suprindo de modo mais adequado as exigências nutricionais no decorrer do ciclo biológico (CARVALHO; BARRAL, 1981). Nesse sentido, o biossólido pode ser visto como um complemento da adubação, podendo reduzir a utilização de fertilizantes químicos e, com isto, reduzir o custo da mesma (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006).

Do ponto de vista biológico, desde que assegurada a qualidade do lodo em termos de possíveis contaminantes, seu uso agrícola e ou florestal, é fonte de energia para os organismos do solo (GUEDES et al., 2006). Segundo Poggiani et al., (2000), além de representar benefício econômico, o uso agrícola deste resíduo representa benefício pelo retorno ao campo de parte da matéria orgânica, nutrientes e energia exportados para os centros urbanos, além do aumento dos estoques de carbono no solo.

### 3.4. Riscos ambientais

A disposição agrícola florestal sem o devido planejamento ou conhecimento do material pode resultar em alguns impactos ambientais negativos. É característica do tratamento de esgoto a decantação de organismos patogênicos, compostos orgânicos complexos e moléculas ligadas a metais pesados (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Caso o lodo não seja submetido ao devido tratamento, estes poluentes podem ser transferidos ao solo, às plantas e às águas superficiais e subterrâneas, através de processos de escoamento superficial e lixiviação (FERNANDES et al., 1993).

A presença de nitratos na composição do lodo também pode ser um problema, devido à falta de sincronismo entre a mineralização do nitrogênio e a absorção deste nutriente pelas plantas, correndo-se o risco de perdê-lo por lixiviação levando à contaminação do lençol freático (BETTIOL; CAMARGO, 2006), ou por desnitrificação, contribuindo com a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) que é um importante gás de efeito estufa.

Semelhante ao nitrogênio, outro possível problema é a lixiviação do fosfato, pois com a adição de lodo de esgoto, a capacidade de adsorção do elemento pode ser modificada (MUNHOZ; BERTON, 2006). Isto pode ocorrer devido a liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição do lodo, que podem bloquear os mesmos sítios de adsorção usados pelo fósforo, diminuindo a fixação do elemento no solo ou substrato (HAYNES, 1984).

Além do conhecimento dos impactos ambientais positivos e negativos causados pela utilização do produto, a reciclagem agrícola do biossólido pressupõe o desenvolvimento de tecnologias que permitam o processamento e controle da qualidade do biossólido produzido, 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). Ou seja, busca-se não apenas reaproveitar um resíduo, mas principalmente gerar um produto com qualidade satisfatória que possa ser amplamente utilizado nos diferentes segmentos.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMINO, R. C. J. **Utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais.** 2010, 221 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. 1999, 121 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influências nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina - Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565 – 580, 2006.

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

BITTENCOURT, S. et al. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba. **Revista AIDIS**, Juruá, v. 2, n. 1, p. 1 – 11, 2009.

BORGES, T. A. et al. Uso de lodo de esgoto na recuperação de área degradada no Distrito Federal. **Revista AIDIS**, Juruá, v. 2, n. 1, p. 65 – 75, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – 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, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

CALDEIRA JR, C. F. et al. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 213 – 218, 2009.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 161-170, jun. 2000.

CARVALHO, P. C. T.; BARRAL, M. F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, Piracicaba, v. 3, n.2, p. 1-4, 1981.

CASTILHOS JR, A. B.; PRIM, E. C. C.; PIMENTEL, F. J. G. Utilização de lodo de ETA e ETE como material alternativo de cobertura de aterro sanitário. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 7, n. 2, p. 86 – 97, 2009.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 1 – 5, 2006.

COLODRO, G. et al. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 195 – 198, 2007.

DUARTE, R. F. et al. Crescimento inicial de mudas de *Acacia mangium* cultivadas em mantas de fibra de coco contendo substrato de lodo de esgoto. **Revista árvore**, Viçosa, v.35, n.1, p.69-76, 2011.

FERNANDES, F.; PIERRO, A. C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 567 – 574, 1993.

GARCIA, G. O. et al. Análise nutricional de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 275 – 290, 2009.

GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 30:267-280, 2006.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 37, p. 249 – 315, 1984.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n.1, p. 125 – 136, 2013.

LESSA, G. T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização de lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil**. 2005, 135 f. Mestrado (Mestrado profissional em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 23 – 30, 2008.

MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE's visando reciclagem agrícola**. 2008, 331 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista brasileira de ciências do solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.1489-1498, 2009.

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.

NÓBREGA, R. S. A. et al. Utilização de bio sólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.

PAIVA, A. V. et al. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.499-511, 2009.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de bio sólidos 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.

QUINTANA, N. R. G. CARMO, M. S; MELO, W. J. Viabilidade econômica do uso do lodo de esgoto na agricultura, estudo de caso de São Paulo. **Informações econômicas**, São Paulo, v.39, n.6, p.32-36, 2009.

RICCI, A. B. et al. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: atributos físicos e revegetação. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.535-542, 2010.

ROSA, P. B.; SCHROEDER, P. **Avaliação do impacto da secagem térmica nos custos com disposição em aterros sanitários do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto de uma metrópole**. 2009, 215 f. Monografia – (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, E. R. **Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação Mangueira, Pernambuco, Brasil**. 2009, 69 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K G. Substratos à 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.; et al. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, p. 55-65, 2012.

SELIVANOVSKAYA, S. Y.; LATYPOVA, V. Z.; ARTAMONOVA, L.A Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. **Journal of Environmental Science and Health- Part A**, New York, v.38, n.8, p.1549-1556, 2003.

SILVA, P.H.M.; et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.77, p.79-88, 2008.

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.

VAN HAANDEL, A. Potencial de geração de energia a partir do lodo de sistemas de tratamento de esgoto. **Revista AIDIS**, Juriquilla, v. 2, n. 1, p. 125 – 142, 2009.

## **CAPITULO I**

# **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E BIOLÓGICA DO BIOSSÓLIDO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS ALEGRIA - RJ**

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar química e biologicamente o biossólido proveniente da ETE Alegria - RJ, e verificar se o mesmo apresenta potencial de utilização agrícola florestal, de acordo com as exigências da Resolução CONAMA nº 375 / 2006. Foram coletadas amostras do biossólido e as mesmas submetidas às análises química e biológica. Foram avaliados os seguintes parâmetros: potencial agrônomico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e estabilidade. O biossólido apresentou elevada concentração de nutrientes em sua composição, apresentando alto potencial nutricional. O material atendeu aos parâmetros exigidos pela legislação para disposição agrícola, com baixo teor de substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas, apresentou-se devidamente estabilizado e com mínima concentração de microrganismos patogênicos.

**Palavras chave:** lodo de esgoto; reciclagem agrícola; reciclagem florestal.

## ABSTRACT

The present study aimed to characterize chemically and biologically biosolids from the ETE Alegria- RJ, and check whether it meets the requirements of CONAMA Resolution No. 375/2006. Were collected representative samples of biosolids and subject to the same chemical and biological analyzes in a specialized laboratory. Were evaluated the potential agronomic parameters; organic and inorganic substances potentially toxic; bacteriological indicators and pathogens; and stability. Biosolids showed high concentration of nutrients in its composition having high nutritional potential. The material met the parameters required by legislation for agricultural provision, low in potentially toxic organic and inorganic substances, properly stabilized and minimum concentration of pathogenic microorganisms.

**Key words:** sewage sludge; agricultural recycling; forest recycling.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de lodo de esgoto é uma característica intrínseca dos processos de tratamento de esgotos e tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana. Portanto, a solução para sua disposição é uma medida que se impõe com urgência, sendo necessário dispor estes resíduos provenientes das Estações de tratamentos de esgotos (ETE's), de forma adequada à proteção do meio ambiente e da saúde da população (BRASIL, 2006).

O lodo de esgoto estabilizado (biossólido) constitui-se em fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e sua reciclagem pode trazer benefícios a agricultura e a silvicultura. Constitui ainda, uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final (aterros sanitários, lixões, fabricação de tijolos e etc), além desta prática enquadrar-se nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada.

Conforme observado por Bettiol; Camargo (2006) o lodo de esgoto, dependendo da ETE de origem, do nível e do tipo de tratamento, pode apresentar em sua composição, diversos poluentes tais como: metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos à saúde humana. Para traçar estratégias de destinação final deste resíduo é necessário conhecer a composição química e biológica do material, para que o mesmo possa ter a melhor destinação possível, abrangendo tanto os aspectos econômicos como o técnico e ambiental. Tais fatores foram alicerces para a resolução n° 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), através da qual 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.

Para que o lodo de esgoto seja considerado apto para o uso agrícola é necessária a realização de análises químicas e biológicas que atestem que o resíduo encontra-se com níveis aceitáveis de microrganismos, metais pesados e compostos químicos nocivos à saúde humana. Para a produção de mudas florestais, além de atender as exigências impostas pela resolução é imprescindível que o mesmo esteja devidamente tratado e estabilizado (biossólido).

A resolução CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006) especifica que após passados cinco anos de sua publicação somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto que sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B. Diante do exposto, torna-se necessário não apenas conhecer as características do lodo de cada ETE, mas também definir estratégias de disposição baseadas nas suas características.

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar química e biologicamente o biossólido proveniente da ETE Alegria (RJ), e verificar se o mesmo atende às exigências da Resolução CONAMA n° 375 / 2006, para uso em área agrícola.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O biossólido utilizado no trabalho é proveniente da ETE Alegria, localizada no bairro do Caju, Rio de Janeiro - RJ. O material foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE). O esgoto tratado pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais.

Na ETE Alegria, o processo de tratamento inicia-se com a passagem dos resíduos constituídos de apenas 1% de sólidos por decantadores primários para remoção da água. Em seguida, o mesmo é direcionado a adensadores de onde sai com teor de 5% de sólidos, indo, após, para biodigestores anaeróbios onde ocorre redução de volume do material, da concentração de patógenos, do risco de putrefação e emissão de odores. Na sequência o lodo

de esgoto passa por centrífugas resultando em um material com teor de sólidos de 30%, depois é conduzido ao secador térmico, onde a temperatura pode alcançar 200°C, e o lodo sai com teor de sólidos de 80 a 90%. O lodo utilizado no experimento não passou pela secagem térmica, sendo encaminhado após a centrifugação para um local seco e arejado para secagem natural por 45 dias, quando atingiu em torno de 75% de sólidos. Após a secagem natural o material foi triturado com auxílio de um triturador orgânico Trapp® modelo Tr 200, para homogeneização das partículas.

Para a caracterização e avaliação do potencial agrícola do bio-sólido cedido pela CEDAE, foi coletada uma amostra representativa do material de acordo com as normas contidas no Anexo IV da Resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Em seguida a amostra foi enviada para o Laboratório TASQA Serviços Analíticos Ltda, localizado na cidade de Paulínia-SP, especializado na área de análise de resíduos sólidos.

O material foi analisado química e biologicamente de acordo com os procedimentos adotados pela EPA SW-846, recomendados pela resolução nº 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). Os parâmetros avaliados foram: potencial agrônômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade.

O potencial agrônômico é determinado com base na concentração de macronutrientes no bio-sólido. Foram realizadas as seguintes determinações: N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrito/nitrato, P total, Ca, Mg, S, Na. Os sólidos voláteis e totais no bio-sólido foram realizadas de acordo com os procedimentos adotados pela U. S. EPA SW-846, método 3051 (1994). A análise de carbono orgânico foi realizada por via úmida, segundo Embrapa (1997).

A caracterização química do bio-sólido quanto à presença de substâncias inorgânicas, refere-se à composição do bio-sólido em relação à presença de metais pesados e de micronutrientes. Os elementos avaliados foram: arsênio; bário; cádmio; chumbo; cobre; cromo; mercúrio; molibdênio; níquel; selênio; e zinco. Para a determinação dos metais presentes no bio-sólido foram utilizadas as referências contidas na norma U. S. – EPA, SW-846, método 3051 (1994), com determinação por ICP-AES, que prevê a digestão de 0,5 à 1,0 g de material em 10 mL de HNO<sub>3</sub>, concentrado em forno microondas com tubos de Teflon à pressão de 0,76 MPa por 10 minutos.

Foram avaliadas também as substâncias orgânicas com potencial de risco à saúde humana, especificadas no anexo V da resolução CONAMA nº375 (BRASIL, 2006), que se enquadram nos grupos dos benzenos clorados, ésteres de ftalatos, fenóis não clorados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

A caracterização microbiológica do bio-sólido quanto à presença de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp., correspondem a presença de patógenos nocivos a saúde humana. A caracterização foi realizada de acordo com a norma U. S. – EPA *part*503 (2003), conforme estipulado pela Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006). Através de tais análises o bio-sólido pode ser classificado em classe A (excelente qualidade) ou B (maiores restrições de uso), dependendo da presença e ou concentrações dos microrganismos em sua composição.

A estabilidade do bio-sólido foi determinada a partir da relação entre sólidos voláteis e sólidos totais. De acordo a resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) o lodo de esgoto para ser considerado estabilizado, e portanto definido como bio-sólido, deve apresentar índice de estabilidade (relação entre sólidos voláteis e sólidos totais) de no máximo 0,70.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo de esgoto oriundo da ETE Alegria, após receber o devido tratamento, apresentou índice de estabilidade de 0,33, sendo considerado estabilizado e podendo ser denominado biossólido. Os resultados obtidos demonstram que o material possui baixo potencial para geração de odores e atração de animais vetores de doenças, que são características desejáveis para a disposição agrícola e florestal.

Segundo Delgado et al. (2002) é importante conhecer a composição química do biossólido, pois só assim pode-se avaliar o seu potencial, assim como, a melhor destinação para o mesmo. As recomendações de uso do biossólido são feitas com base na concentração de nutrientes presentes, principalmente N, P e K, e sobre as concentrações de metais pesados em sua composição. Os resultados apresentados na Tabela 1 revelam que o biossólido contém altos teores de macronutrientes e enquadra-se nos padrões nutricionais observados para lodos de origem domiciliar (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Tabela 1: Concentração dos diferentes elementos indicadores do potencial agrônômico observada no lodo de esgoto proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ.

Substância	Unidade	Concentração
Carbono orgânico	%	28,7
Fósforo total	%	0,62
Potássio total	%	0,50
Sódio total	%	0,16
Enxofre total	%	1,20
Cálcio total	%	0,24
Magnésio total	%	0,01
Nitrogênio total	%	3,88
Nitrogênio Kjeldahl	mg kg <sup>-1</sup>	33.497
Nitrogênio amoniacal	mg kg <sup>-1</sup>	208
Nitrito	mg N. kg <sup>-1</sup>	17
Nitrato	mg N. kg <sup>-1</sup>	5.318
Sólidos totais	%	74,29
Sólidos voláteis	%	24,29
Umidade	%	25,71
pH em água (1:10)	-	5,45

A presença de altos teores de nutrientes no biossólido oriundo da ETE Alegria vai de encontro aos resultados observados por Aguilera et al. (2007) em três estações de tratamento de esgotos chilenas, Agustini; Onofre (2007) na ETE de Pato Branco – PR, e Miranda et al. (2009) em quatro ETE's do Município de Chapecó – SC, que também encontraram altos teores de nutrientes, principalmente nitrogênio (N). Este, além de ser o macronutriente mais abundante na composição do biossólido, é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento quando em deficiência (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Levando-se em consideração a importância do N para a produtividade das culturas agrícolas e florestais e que existe uma forte dependência nacional da importação desse nutriente e custos relativamente altos para aquisição do mesmo (ANDRADE et al., 2010), o

uso agrícola e florestal do bio sólido, pode surgir não apenas como uma estratégia do ponto de vista ambiental, mas também com relevante interesse econômico.

Outro ponto importante é a presença de carbono orgânico (CO), o mesmo é considerado segundo Pires; Matiazzo (2008) como um primeiro indicativo do potencial de algum resíduo ser utilizado como fertilizante orgânico, logo sua presença no bio sólido indica que o mesmo possui potencial para esta finalidade, seja para condicionamento dos solos, ou na composição de substratos orgânicos. O teor de matéria orgânica do solo pode ser avaliado através do seu teor de CO, do teor de N e da relação C:N. Sabe-se que 58% da matéria orgânica é CO. Os efeitos da matéria orgânica são considerados essenciais para o crescimento vegetal, pois a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes, principalmente o N, que não é disponibilizado pelo solo, somente pelos resíduos culturais, serrapilheira, adubos verdes e fixação biológica de nitrogênio. Também pode-se destacar a solubilização de nutrientes no substrato, o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), a melhora da absorção de micronutrientes pelas plantas, a facilitação da penetração das raízes, a melhora da capacidade tampão do substrato, além da liberação lentamente de água e de nutrientes essenciais como nitrogênio, enxofre e fósforo (MIRANDA, 2010).

Outro elemento presente em altas concentrações no bio sólido é o fósforo. No bio sólido, a presença deste elemento advém dos dejetos, corpos microbianos e detergentes e sabões que utilizam fosfato como aditivos. A biodisponibilidade de P no bio sólido é alta, variando de 40 a 80% do fosfato total (MIRANDA, 2010). Esse nutriente encontra-se fortemente adsorvido nos minerais de argila dos solos tropicais, sendo muito baixa a sua disponibilidade para as plantas. Já no bio sólido, grande parte deste elemento estará prontamente disponível para as plantas nos primeiros meses do ciclo de produção, fato desejado dado à essencialidade deste elemento na participação dos processos metabólicos das plantas em especial sua participação na formação do sistema radicular.

Em relação ao potássio e ao sódio, ambos altamente solúveis, geralmente apresentam-se em concentrações menores em bio sólido seco do que em lodo de esgoto úmido, devido à alta solubilidade destes nutrientes, que são diluídos durante o processo de desaguamento (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Como o esgoto que chega na ETE para tratamento é composto de 99,9% de água, grande parte destes nutrientes ficam solubilizados na água residuária, que em alguns casos pode ser reaproveitada para fertirrigação, se o nível desses elementos estiver de acordo com os limites estabelecidos pela legislação. Maior atenção deve ser dada ao sódio, para não acarretar problemas de salinidade nos solos e substratos.

O enxofre é encontrado em quantidades consideráveis no lodo de esgoto da ETE Alegria, sendo o segundo macronutriente mais abundante. A presença deste elemento em lodos de esgoto é creditada à presença de surfactantes, provenientes de detergentes descartados em grande quantidade nos esgotos domésticos (SÍGOLO; PINHEIRO, 2010). Além disso, parte desse enxofre pode ser creditada à vinculação com fezes, que são fontes de compostos de proteínas, como a tiamina, que produz, em condições redutoras, gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), de odor característico (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O cálcio e o magnésio são elementos que estão presentes no bio sólido essencialmente na forma mineral, ou seja, inorgânica, e segundo Tsutiya (2001), mesmo dosagens pequenas de bio sólido podem suprir as necessidades desses nutrientes, dependendo da necessidade da cultura.

O pH do lodo da ETE Alegria foi de 5,45, nível considerado dentro da faixa ideal de 5,0 – 7,0 para substratos de mudas florestais (CARNEIRO, 1995). É importante destacar que nesse valor de pH o teor de alumínio é zero, encontrando-se na forma precipitada. Muitas reações físicas, químicas e biológicas do substrato, e por consequência o desenvolvimento das mudas, dependem do pH.

Segundo Assenheimer (2009), o bioossólido apresenta a vantagem de conter os nutrientes na forma orgânica, podendo liberá-los gradativamente, suprindo de modo adequado as exigências nutricionais no decorrer do ciclo de produção da muda.

Embora o bioossólido proveniente da ETE Alegria apresente elevados níveis de nutrientes em sua composição, é imprescindível que o mesmo atenda as exigências estipuladas pela resolução nº 375/2006 do CONAMA para que este potencial possa ser aproveitado. Neste sentido, um dos componentes de maior preocupação é a concentração de metais pesados no bioossólido. Os metais de principal preocupação são Zn, Cu, Pb, Ni e Cd, que, quando aplicados em quantidades excessivas, podem reduzir a produção vegetal ou prejudicar a qualidade dos alimentos ou fibras produzidas (PARR et al.1989).

Na Tabela 2 são apresentados os dados referentes à presença de compostos inorgânicos (metais pesados) no lodo de esgoto da ETE Alegria. Verifica-se que, para todos os elementos analisados, as concentrações encontradas foram menores que o máximo permitido pela legislação, caracterizando o bioossólido como viável para o aproveitamento agrícola florestal, no que se refere ao risco de contaminação por metais pesados.

Tabela 2: Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas no lodo de esgoto proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ

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

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no bioossólido da ETE Alegria.

Alguns compostos inorgânicos como o Mo, Cu e Zn que aparecem na composição química do bioossólido, são considerados micronutrientes essenciais para as plantas (MALAVOLTA, 1989). Segundo Carneiro (1995) o fornecimento destes é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de influenciar na eficiência de absorção dos macronutrientes.

Segundo Guilherme et al. (2010), nos EUA o termo “lodo limpo” se aplica, conforme norma EPA CFR 40, Part 503 (USEPA, 1993), aos materiais que apresentam qualidade excepcional, por conterem teores de Cd, Hg e Pb, respectivamente, menores que 39, 17 e 300, situação em que se enquadra o bioossólido da ETE Alegria. No entanto, segundo Fjällborg et al. (2005), isso não elimina os riscos de contaminação, visto que sucessivas aplicações podem levar ao acúmulo destes metais no solo agrícola. Sendo assim, a destinação florestal como substrato para a produção de mudas florestais, fertilizante para plantios de recomposição florestal com espécies nativas ou condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas, por exemplo, pode ser mais atrativa do ponto de vista ambiental, visto que nessas atividades seriam realizadas apenas uma ou duas aplicações, diferentemente do uso agrícola para culturas de ciclo curto, em que são realizadas aplicações sucessivas.

A resolução CONAMA nº375/2006 teve como base para definição das concentrações máximas permitidas de As, Cd, Pb, Cu, Hg, Ni, Se e Zn em bioossólido a norma americana EPA CFR 40, Part 503 (USEPA, 1993). O mesmo não ocorreu para os níveis de Cr, Ba e Mo, que foram definidos baseados na metodologia proposta pela agência ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (DIAS, 2004). Sampaio (2010) faz crítica aos níveis de metais na legislação brasileira, questionando a importação dos valores de referencia da norma americana, que foram alcançados em condições ambientais diferentes. Questiona ainda, a extrapolação dos valores para Cr, Ba e Mo que foram obtidos nas condições específicas do

Estado de São Paulo, baseados, segundo o autor, em estudos simplificados de caracterização de solos do Estado.

Outro parâmetro importante trata-se da análise dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, que é utilizada para identificar possíveis riscos de contaminação microbiológica e qualificar o bio sólido em Classe A ou B. De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, o bio sólido da ETE Alegria pode ser classificado como de classe A, indicando que a concentração de microrganismos patogênicos no material está abaixo da máxima permitida, atendendo as normas da Resolução nº 375/2006 do CONAMA. A mesma resolução estipula que passados cinco anos de sua publicação, apenas lodos enquadrados na classe A, poderão ser utilizados na agricultura, portanto, o bio sólido da ETE Alegria encontra-se no padrão de excelente qualidade para disposição agrícola e florestal.

Tabela 3: Concentração de microrganismos patogênicos no bio sólido proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

Parâmetro	Unidade	CONAMA <sup>1</sup>	ETE Alegria <sup>2</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP g <sup>-1</sup> ST	< 1000	< 0,04
Ovos Viáveis de Helmintos	Ovos g <sup>-1</sup> ST	< 0,25	< 0,01
<i>Salmonellasp.</i>	Presente/ausente em 10g ST	Ausente	Ausente

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no bio sólido da ETE Alegria. NMP: Número mais provável; ST: Sólidos totais.

Assim como para valores referenciais de metais pesados, os padrões microbiológicos da Classe A são exatamente os mesmos fixados pela legislação norte americana (USEPA, 1993), sendo este padrão, mundialmente aceito como forma de promover a necessária segurança à saúde pública da população exposta. Segundo Sampaio (2010), apesar da legislação brasileira aceitar os mesmos parâmetros adotados mundialmente, a mesma faz severas restrições em relação à aplicação do lodo classe A, mesmo não existindo qualquer estudo técnico científico que a justifique. Segundo as legislações americana (USEPA, 1993) e australiana (NRMCC, 2004) lodos enquadrados nesta classe não estão sujeitos a qualquer tipo de restrição para sua aplicação e comercialização, sendo inclusive, comercializados em supermercados nos EUA, para uso doméstico (SAMPAIO, 2010).

Bastos et al. (2009), em uma análise crítica da resolução CONAMA nº 375/2006, quanto à contaminação microbiana, concluíram através de testes laboratoriais que a versão atual da resolução possa ser demasiadamente rigorosa com o lodo do tipo A, tanto nos critérios de qualidade, quanto, principalmente, nas restrições de uso. Os autores sugerem ainda que os limites de ovos viáveis para o padrão Classe A (< 0,25 ovo / g ST) possa ser muito restrito.

Na Tabela 4 são apresentados às concentrações de compostos orgânicos potencialmente tóxicos encontrados no bio sólido da ETE Alegria, assim como a concentração permitida pela resolução CONAMA para fins de monitoramento destes após a aplicação no solo. Apenas um dos componentes apresentou concentração no bio sólido superior aos limites propostos para monitoramento após aplicação em solos agrícolas estipulados pela resolução CONAMA, e, portanto merece maior atenção. O Di(2-etilhexil) ftalato (DEHP) é uma substância utilizada na fabricação de compostos plásticos, PVC, cosméticos, brinquedos, ferramentas e equipamentos de laboratório, sendo vulgarmente chamada de plastificante (HAY, 2010). Esta substância pode causar danos ao meio ambiente e a saúde humana e de outros organismos (BILA; DEZOTTI, 2007). No entanto, deve-se

observar como enfatizado anteriormente, que os valores máximos permitidos para os compostos orgânicos persistentes, determinados pela legislação brasileira são referentes à concentração dessas substâncias por kg de solo agrícola e não diretamente no biossólido, como foi avaliado no trabalho.

Tabela 4: Concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de compostos orgânicos persistentes potencialmente tóxicos no biossólido proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ.

Substância	CONAMA <sup>1</sup>	ETE Alegria <sup>2</sup>
Benzenos clorados		
1,2-Diclorobenzeno	0,7300	< 0,002
1,3-Diclorobenzeno	0,3900	< 0,002
1,4-Diclorobenzeno	0,3900	< 0,002
1,2,3-Triclorobenzeno	0,0100	< 0,004
1,2,4-Triclorobenzeno	0,0110	< 0,002
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5000	< 0,006
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,1600	< 0,006
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,0100	< 0,006
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065	< 0,006
Ésteres de ftalatos		
Di-n-butil ftalato	0,700	0,545
Di (2-etilhexil)ftalato	1,000	23,833*
Dimetil ftalato	0,250	< 0,020
Fenóis não clorados		
Cresóis	0,160	< 0,010
Fenóis clorados		
2,4-Diclorofenol	0,031	< 0,010
2,4,6-Triclorofenol	2,400	< 0,010
Pentaclorofenol	0,160	< 0,010
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos		
Benzo(a)antraceno	0,0250	< 0,0005
Benzo(a)pireno	0,0520	< 0,0005
Benzo(k)fluoranteno	0,3800	< 0,0005
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,0310	< 0,0005
Naftaleno	0,1200	0,0711
Fenantreno	3,3000	< 0,0005
Lindano	0,0010	< 0,0010

<sup>1</sup> Concentração máxima em solos agrícolas permitida segundo a Resolução n° 375/2006 do CONAMA; <sup>2</sup>Concentração observada no lodo da ETE Alegria; \*Acima da concentração máxima permitida em solos agrícolas, segundo Resolução n° 375/2006 do CONAMA.

Souza et al. (2010) encontraram concentrações de DEHP em lodos de ETE's de Porto Alegre – RS, na ordem de  $94 \text{ mg kg}^{-1}$ . Fromme et al. (2002) encontraram, em lodos de ETE's na Alemanha, concentrações de DEHP que variaram de  $27,9$  a  $154 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca de lodo. Martinen et al. (2003), avaliando a concentração de DEHP em onze estações de tratamentos de esgotos na Finlândia, encontraram concentrações variando de  $28$  a  $122 \text{ mg kg}^{-1}$ . Já Smith; Riddell-Black (2007), em uma revisão sobre as concentrações dos compostos orgânicos persistentes em lodos da Europa, concluíram que a concentração média de DEHP nos lodos das ETE's europeias é de  $110 \text{ mg kg}^{-1}$ . Em Portugal, onde as pesquisas para destinação de resíduos sólidos encontram-se em estágios mais avançados, já existe uma

legislação que determina a concentração máxima de DEHP no próprio lodo de esgoto, segundo o decreto-lei nº118/2006 (PORTUGAL, 2006), a concentração máxima permitida é de 100 mgkg<sup>-1</sup>. Todos os valores, estão acima dos 23,833 mg Kg<sup>-1</sup> encontrados no biossólido analisado neste trabalho.

Considerando o exposto, pode-se afirmar que concentração encontrada de DEHP no biossólido da ETE Alegria está dentro dos padrões normais para lodos de esgotos e sua periculosidade à saúde humana é minimizada ainda mais quando utilizado os devidos EPI's exigidos pela resolução CONAMA para manuseio do resíduo.

Apesar da resolução CONAMA nº375/2006 (BRASIL, 2006) estipular que deve ser realizada a caracterização do lodo para compostos orgânicos potencialmente tóxicos, a mesma não define valores máximos permitidos para os mesmos. Segundo Hay (2010), embora seja louvável que a lista de poluentes orgânicos proposta pela USEPA (1993) esteja incluída na resolução CONAMA nº375/2006, é possível que os lodos no EUA contenham uma lista de produtos químicos, totalmente diferentes dos existentes no Brasil, o enfoque restrito aos compostos orgânicos mais conhecidos necessita ser reavaliada.

Na resolução, as concentrações máximas destes compostos são determinadas apenas para fim de monitoramento do solo após aplicação do biossólido. Acredita-se que seria mais efetivo e seguro, estipular com base em estudos prévios, os compostos orgânicos potencialmente tóxicos nos lodos gerados no Brasil, e as suas respectivas concentrações máximas presentes no lodo, e não em solo agrícola.

Segundo Sampaio (2010), apenas a legislação brasileira exige o monitoramento das substâncias orgânicas, sem, contudo, estabelecer os limites máximos permitidos. A exigência de monitoramento destas substâncias sem a finalidade definida, onera o processo de reciclagem agrícola, visto que, para realização dessas análises são necessários métodos laboratoriais sofisticados (cromatografia), de custos bastante elevados.

O biossólido proveniente da ETE Alegria além de mostrar-se com alto potencial nutricional para aproveitamento agrícola e florestal, adequou-se a legislação quanto aos contaminantes químicos e biológicos. No entanto, é importante salientar que a composição do biossólido possui certa variabilidade em função da bacia de esgotamento, da forma de tratamento e do método de redução de patógenos aplicado, e os valores encontrados para o biossólido desta ETE, pode não ser o mesmo de outras estações.

#### 4. CONCLUSÃO

Segundo os parâmetros avaliados e considerando o disposto na Resolução nº 375/2006 do CONAMA, o biossólido da ETE Alegria enquadra-se como de classe A, com padrão de excelente qualidade para disposição agrícola florestal.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, S. M. et al. Chemical characterization of sewage sludges in Chile and their potential utilization as amendment to reclaim soils for forestation purposes. **Journal of plant nutrition**, v. 30, n. 10, p. 1993 – 2003, 2007.

AGUSTINI, D.; ONOFRE, S. B. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Pato Branco – PR. **Revista de Biologia e Saúde da UNISEP**, Dois Vizinhos, v. 1, n. 1, p. 85 – 92, 2007.

ANDRADE, C.A. de; 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. (Org.). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010.p.157-170

ASSENHEIMER A. Benefícios do uso do biossólido como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v.5, n.2, p.321-330, 2009.

BASTOS, R. K. X. et al. Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. **Revista AIDIS**, Juruquilla, v. 2, n.1, p.143-159, 2009.

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. p. 31-50.

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

BILLA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. **Química nova**, São Paulo, v.30, n.3, p.651-666, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – 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, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

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

DELGADO, M. M. A. et al. Sewage sludge compost fertilizer effect on maize yield and soil heavy metal concentration. **Revista Interamericana de Contaminación Ambiental**, Coyoacán, n. 18, n. 3, p. 147 – 150, 2002.

DIAS, C. L. **Estabelecimento de valores de alerta e limites máximos no lodo de esgoto**. CETESB, 2004. Relatório técnico interno. 50 p. Relatório técnico interno.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FJÄLLBORG, B. et al. Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate. **Environment International**, v.31, n.1, p.25-31, 2005.

FROMME, H. et al. Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in environment. **Water Research**, East Lansing. v.36, n.6, p.1429-1438,2002.

GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos traço em lodo de esgoto: Avaliação de risco à saúde após o uso agrícola 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. p. 137-156.

HAY, A. G. Organic chemicals in sewage sludges: “The book is on the table” 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. p. 363-399.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 251 p.

MARTTINEN, S. K.; KETTUNEN, R. H.; RINTALA, J. A. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. **The Science of de Total Environment**. v. 301, n.7, p. 1-12, 2003.

McBRIDE, M. B. Toxic metals accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 1, p. 5 – 18, 1995.

MIRANDA, A. R. **Caracterização do lodo da Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Chapecó (SC) visando à reciclagem agrícola**. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Comunitária da Região de Chapecó – Chapecó - SC.

PARR J.F. et al. Use of organic amendments for increasing the productivity of arid lands. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, Columbia, v. 3, n.1, p. 49-170, 1989.

PIRES, A. M. M. e MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Circular técnica nº 19 - Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2008.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Decreto-Lei n.º 118/2006. **Diário da República – I Série-A**, Lisboa, n.º 118, p.4385-4386, 21 Jun 2006.

SAMPAIO, A. O. Adequação das estações de tratamento de esgotos sanitários à resolução número 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., p. 265-278.

SÍGOLO, J. B. e PINHEIRO, C. H. R. Lodo de Esgoto da ETE Barueri - SP: Proveniência do Enxofre Elementar e Correlações com Metais Pesados Associados. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, .v. 10, n. 1, p. 39-51, 2010.

SMITH, S. R.; RIDDELL-BLACK, D. Sources and impacts of past, current and future contamination of soil. Appendix 2: Organic contaminants. Final Report to DEFRA. 2007. Disponível em <[http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SP0547\\_7266\\_FRA.pdf](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SP0547_7266_FRA.pdf)> Acessado em: 15/06/2013.

SOUZA, S. R; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 432 p. 2006.

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

USEPA - UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Standards for the use or disposal of sewage sludge**. EPA CFR 40, Part 503. Washington, DC, 1993. 86 p.

**CAPITULO II:**

**BIOSSÓLIDOS NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA  
PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS**

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi verificar o potencial do bio sólido na composição de substratos para produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Handroanthus heptaphyllus* e avaliar a sobrevivência e o crescimento após o plantio em campo. Foram testadas diferentes proporções volumétricas de bio sólido (BIO) misturadas a um substrato comercial (SC), consistindo nas seguintes formulações: T1=0%BIO + 100% SC; T2= 25% de BIO + 75% SC; T3 = 50% de BIO + 50% SC; T4=100% de BIO + 0% SC. Apesar das espécies apresentarem respostas diferenciadas em função da composição do substrato e da sua auto ecologia, o bio sólido apresentou elevado potencial na composição de substratos para produção de mudas. As mudas que continham bio sólido na composição do substrato apresentaram os melhores resultados na fase de viveiro, além de maior sobrevivência e crescimento aos seis meses após o plantio.

**Palavras chave:** lodo de esgoto; substrato comercial; qualidade de mudas.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the potential of biosolids in the composition of substrates for seedling production *Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius*, *Pseudobombax grandiflorum* and *Handroanthus heptaphyllus*. Were tested biosolids (BIO) different volume ratios mixed with the commercial substrate (SC), consisting of the following formulations: T1 = 0% BIO + 100% SC; T2 = 25% de BIO + 75% SC; T3 = 50% de BIO + 50% SC; T4 = 100% de BIO + 0% SC. At 134 days after sowing, the characteristics shoot height (H) and stem diameter (D) of seedlings, dry matter (MSPA) and root dry matter (RDM), relative height diameter (were evaluated H / D) ratio of the dry weight of shoot and root dry matter (MSA / MSR), and Dickson Quality Index (DCI). Despite species show different responses depending on the composition of the substrate and its autoecology, biosolids showed high potential in the composition of substrates for seedling production.

**Key words:** sewage sludge; commercial substrate; seedlings quality.

## 1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), definiu como uma de suas principais diretrizes, o incentivo à geração e a redução, reutilização e tratamento dos resíduos sólidos, bem como destinação adequada dos rejeitos. Segundo a legislação, são considerados rejeitos apenas as partes dos resíduos que não apresentam possibilidade de reciclagem.

Esta legislação vai ao encontro da atual tendência de reaproveitamento dos resíduos urbanos, pois, além de contribuir para minimizar o problema ambiental, geralmente são uma garantia de fornecimento de matéria-prima para a agricultura a longo prazo e baixo custo (CALDEIRA et al., 2000). Neste contexto, o lodo de esgoto, que atualmente é tratado como um rejeito e corresponde a um passivo ambiental urbano, surge como um dos principais resíduos a serem reciclados.

Há alguns anos já vem sendo estudadas formas mais sustentáveis de destinação final para o lodo de esgoto, focando-se principalmente na sua destinação agrícola como condicionador de solo e ou fertilizante em recuperação de áreas degradadas e plantações agrícolas e florestais (SELIVANOVSKAYA et al., 2003; BASIL et al., 2009; MODESTO et al., 2009; RICCI et al., 2010; VALDECANTOS et al., 2011). Uma das alternativas viáveis para a disposição desse resíduo pode ser também o seu uso como componente de substratos destinados à produção de mudas florestais (RIGUEIRO; MOSQUERA, 2007; LÓPEZ et al., 2008; PAIVA et al., 2009; SCHEER et al., 2012).

Levando-se em consideração que o lodo de esgoto devidamente compostado (biossólido) encerra em sua composição grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o crescimento vegetal, a disposição agrícola florestal do biossólido passa a representar não apenas um benefício ambiental, mas também uma possível opção do ponto de vista técnico e econômico (BASIL et al., 2009).

No caso de regiões com pouca vocação agropecuária, onde há escassez de resíduos orgânicos, o biossólido pode surgir como uma alternativa viável para fonte de matéria orgânica na composição de substratos para produção de mudas florestais. Alguns materiais que desempenham esta função, como o substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada, muito empregado na produção de mudas em tubetes, podem ter seus custos de aquisição reduzidos com a inserção do biossólido na composição do substrato.

O uso do biossólido como componente de substratos para produção de mudas florestais pode propiciar aumento da capacidade de retenção hídrica, fornecer macro e micronutrientes as mudas, permitir uma economia na adubação suplementar, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais, ou outros componentes (MORAIS et al., 1996; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; FAUSTINO et al., 2005; CUNHA et al., 2006; NOBREGA et al., 2007; SCHEER et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar o potencial do biossólido na composição de substratos, testando a proporção de mistura de biossólido e substrato comercial que proporcionem maior crescimento às mudas florestais no viveiro e posterior sobrevivência e crescimento em campo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Fase de Viveiro

#### 2.1.1. Localização

O trabalho foi realizado no viveiro florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ.

O clima da região de Seropédica, RJ, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (BRASIL, 1980), tropical com chuvas de verão. Segundo os dados dos últimos 20 anos da estação meteorológica da PESAGRO-RJ, a mais próxima ao local do experimento, a precipitação média anual é de 1.245 mm com o período mais seco nos meses de junho, julho e agosto e com excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média de fevereiro, que é o mês mais quente, é de 27,0 °C, a de julho, o mês mais frio é de 20,6 °C e a temperatura média anual é de 23,7 °C. O tempo médio de insolação anual é de 2.527 horas, a média anual da evaporação é de 1.576 mm e a umidade relativa do ar é de 69%.

#### 2.1.2. Delineamento experimental

Para cada espécie foi constituído um experimento e as espécies utilizadas foram *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (angico vermelho), *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira pimenteira), *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns (embiruçu) e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Tol. (ipê roxo). Estas espécies são amplamente utilizadas em plantios de recomposição florestal.

Os tratamentos foram comuns a todas as espécies e para a composição desses foram testados diferentes doses do bio sólido (BIO), misturadas em proporção volumétrica, a um substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada (SC), consistindo nas seguintes formulações: T1=10% BIO+90% SC (testemunha); T2= 25% BIO + 75% SC; T3 = 50% BIO+50% SC; e T4 = 100% de BIO + 0% SC.

Para cada espécie, o delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos, quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta por 18 mudas, totalizando 288 mudas para cada espécie.

#### 2.1.3. Descrição dos substratos

O bio sólido utilizado no trabalho é proveniente da ETE Alegria, localizada no bairro Caju, Rio de Janeiro - RJ. O material foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE). O esgoto tratado pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais e obtido por processo de digestão anaeróbica. Posteriormente, o mesmo foi acondicionado em local seco e arejado para secagem natural.

O bio sólido foi devidamente caracterizado de acordo exigências da resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) e atendeu aos parâmetros relativos a concentração dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos (Tabela 1), sendo classificado como de classe A.

Tabela 1: Concentração de microrganismos patogênicos no biossólido proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

Parâmetro	Unidade	CONAMA <sup>1</sup>	ETE Alegria <sup>2</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP g <sup>-1</sup> ST	< 1000	< 0,04
Ovos Viáveis de Helminthos	Ovos g <sup>-1</sup> ST	< 0,25	< 0,01
<i>Salmonella</i> sp.	Presente/ausente em 10g ST	Ausente	Ausente

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no biossólido da ETE Alegria. NMP: Número mais provável; ST: Sólidos totais.

O biossólido atendeu também aos parâmetros relativos a presença de compostos inorgânicos (metais pesados), apresentando valores inferiores aos máximos estipulados pela legislação e portanto está apto para uso em ambientes agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2: Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas no lodo de esgoto proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ

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

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no biossólido da ETE Alegria.

O biossólido da ETE Alegria, que passa pela secagem natural como método de redução de patógenos, foi triturado com auxílio de um triturador orgânico Trapp® modelo Tr 200, para diminuir e padronizar o tamanho das partículas antes de ser utilizado na formulação dos substratos.

O substrato comercial utilizado na formulação dos tratamentos foi o Mecplant® Florestal 3, indicado para mudas de pinus e nativas propagadas por sementes. Esse substrato é amplamente utilizado na produção de mudas florestais em tubetes, e segundo a fabricante, totalmente produzido a partir da casca de Pinus bioestabilizada.

#### 2.1.4. Produção de mudas

Seguindo os tratamentos estabelecidos, foram realizadas as misturas do biossólido e substrato comercial e após a completa homogeneização foram retiradas as amostras para posterior análise química e física. Os tubetes com capacidade volumétrica de 280 cm<sup>3</sup>, foram dispostos em bandejas de plástico com capacidade para 54 recipientes e em seguida preenchidos manualmente, com substrato previamente umedecido, facilitando a compactação e acomodação no interior do recipiente. As bandejas foram alocadas em canteiros suspensos localizados a pleno sol. A semeadura foi realizada diretamente nos tubetes, contendo o substrato referente a cada tratamento. Em cada recipiente foram semeadas três sementes. Aos 20 dias após a semeadura foi realizado o desbaste, deixando-se uma plântula por tubete, utilizando-se como critério de seleção a planta de maior vigor e mais centralizada. A irrigação das mudas foi feita por sistema de microaspersão duas vezes ao dia, uma no início da manhã e outra ao final da tarde, e de acordo com a necessidade das mudas, através de análise visual e experiência da equipe.

### 2.1.5. Avaliação morfológica

Aos 134 dias após a semeadura foram conduzidas avaliações da altura da parte aérea (H) com uso de régua graduada (cm), e do diâmetro do coleto (D) com uso de paquímetro digital (mm). Com os dados desta avaliação, foram selecionadas as cinco mudas mais próximas da média de cada repetição, para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca do sistema radicular (MSR), totalizando 20 mudas amostradas por tratamento. As mudas selecionadas tiveram as raízes lavadas em água corrente para retirada do substrato. Em seguida, foram separadas a parte aérea do sistema radicular, e os mesmos foram devidamente identificados e acondicionados em sacos de papel e em seguida levados para uma estufa de circulação de ar forçada, onde permaneceram a 65°C, até a obtenção de peso constante. Após a secagem, as mesmas foram pesadas em balança de precisão para obtenção da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Com as variáveis coletadas foram calculadas a relação entre altura da parte aérea e diâmetro de coleto (H/D), relação entre a matéria seca da parte aérea e matéria seca do sistema radicular (MSPA/MSR), bem como o índice de qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), por meio da fórmula (1):

$$IQD = \left( \frac{MST}{\frac{H}{D} + \frac{MSPA}{MSR}} \right) \quad (1)$$

Em que: MST é matéria seca total (gramas); H é a altura da parte aérea (cm); D é o diâmetro do coleto (mm); MSPA é matéria seca da parte aérea (gramas); e MSR é matéria seca radicular (gramas).

### 2.2. Caracterização dos substratos

Após a homogeneização dos substratos, foi coletada uma amostra de cada tratamento e as mesmas submetidas à análise química, realizada no Laboratório de Análises de Solos Viçosa Ltda. Foram analisados os teores totais de macronutrientes, matéria orgânica, relação C/N e pH.

A caracterização física (volume total de poros, macroporosidade, microporosidade, capacidade de retenção de água e densidade dos tratamentos) foi realizada no Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamentos (LAPER) do Instituto de Florestas da UFRRJ, utilizando a metodologia de Carvalho e Silva (1992).

Para as determinações, foram utilizados tubetes de 50 cm<sup>3</sup>, os mesmos foram identificados e pesados. Foram utilizados 10 tubetes por tratamento, cada um constituindo uma repetição.

Os tubetes foram preenchidos, manualmente e o substrato foi compactado com batidas para a acomodação das partículas. Em seguida os tubetes e substratos foram submetidos à saturação com água, por uma hora. Após a saturação inicial, os tubetes foram drenados por 30 minutos e, depois, quando necessário, completou-se o volume dos tubetes com mais substrato, para compensar a acomodação inicial do mesmo e retornaram-se os tubetes para a caixa de água por mais cinco horas, para saturar novamente; Posteriormente, procedeu-se à primeira pesagem (saturado) em que o tubete foi levantado e o orifício do fundo foi vedado com fita adesiva para não drenar a água. Em seguida, acrescentou-se água com bureta até o limite da borda do tubete. Enxugou-se a água aderida na superfície externa do tubete com papel absorvente, e então o tubete foi pesado.

O próximo passo foi a drenagem, a qual foi dividida em duas etapas, sendo a primeira com o tubete suspenso, com a superfície de drenagem livre por uma hora. Depois, os tubetes foram mantidos em drenagem com o fundo em contato com folhas de papel jornal sobre uma

lâmina de espuma plástica por mais 12 horas. A segunda pesagem (drenado) foi realizada retirando-se os tubetes do suporte e imediatamente pesando-os.

Posteriormente, o substrato drenado foi transferido para cápsulas de alumínio com tampa previamente identificada e tarada, e levadas à estufa a 65°C, por 96 horas, quando atingiu peso constante. A terceira pesagem (seco) foi feita após a retirada da estufa.

Com as medidas obtidas nas diferentes condições, determinou-se o volume total de poros, a macro e microporosidade, capacidade de retenção de água e a densidade do solo, utilizando-se as equações abaixo:

$$\text{Macroporosidade (\%)} = \left( \frac{A-B}{C} \right) * 100 \quad (2)$$

$$\text{Microporosidade (\%)} = \left( \frac{B-D}{C} \right) * 100 \quad (3)$$

$$\text{Volume total de poros (\%)} = (\text{Macroporosidade} + \text{Microporosidade}) \quad (4)$$

$$\text{Capacidade de retenção de água (ml/50 cm}^3\text{)} = (B-D) \quad (5)$$

$$\text{Densidade aparente (\%)} = \left( \frac{D}{C} \right) * 100 \quad (6)$$

Em que, A= peso do substrato encharcado; B = peso do substrato drenado; C = volume do tubete; D = peso do substrato seco.

### 2.3. Fase de campo

Nesta fase foram utilizadas as mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (angico vermelho) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê roxo). Cada espécie foi avaliada separadamente, constituindo-se dois experimentos implantados em campo. As espécies aroeira e embiruçu foram implantadas em outro campo experimental, porém, devido a entrada de gado na área, que afetou consideravelmente o experimento, os dados foram desconsiderados.

#### 2.3.1. Caracterização da área

O experimento foi implantado numa área de reflorestamento visando à restauração florestal, em propriedade da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Santa Rosa, município de Bom Jardim, localizado na Região Centro Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, pertencente ao Grupo Densevix S/A. O plantio das mudas ocorreu em 28 de fevereiro de 2013 e as avaliações de sobrevivência e crescimento no final de agosto de 2013 (6 meses). Durante esse período foram realizadas as operações de manutenção e formação do povoamento.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região onde está localizado o Município de Bom Jardim é classificado como tropical chuvoso, com inverno seco e verão chuvoso. A altitude em relação ao nível do mar é de 530 metros e a precipitação média anual é de 1.402 mm, com período seco compreendido entre os meses de junho a agosto e o período chuvoso de novembro a março. A temperatura média anual da região é de 22,0°C e apresenta

temperatura média mínima em torno de 16,0°C no mês de julho, enquanto a temperatura média máxima é de 28,0°C e ocorre no mês de fevereiro.

Segundo Veloso et al. (1991), a vegetação do Município de Bom Jardim é classificada como floresta ombrófila densa, e de acordo com a Embrapa (2006) a topografia da região apresenta relevo ondulado com afloramentos rochosos e a classe de solo do local do experimento é Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico(SANTOS, 2013).

O balanço hídrico médio mensal durante o ano de 2013, que engloba o período experimental, foi calculado pelo método de Thornthwaite; Mather (1955). Foi utilizada a planilha eletrônica desenvolvida por Sentelhas et al. (1998), considerou-se 350 mm de capacidade de água disponível (CAD), correspondente ao Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, conforme descrito pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2008). Constata-se através do balanço hídrico (Figura 1) que durante o período experimental ocorreu deficiência hídrica no solo.

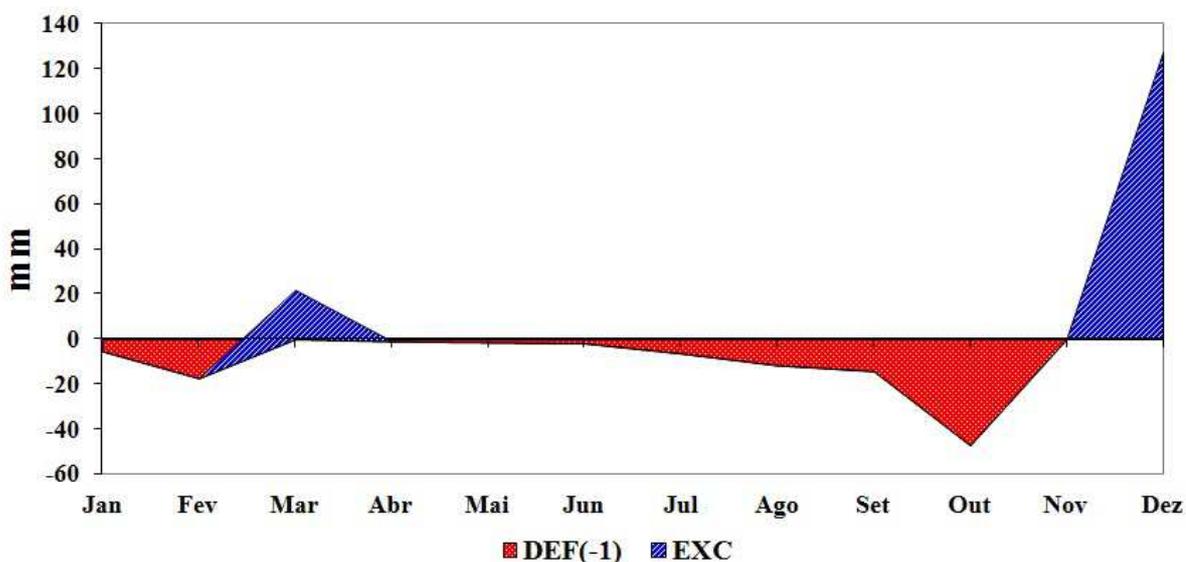


Figura 1: Extrato do balanço hídrico do solo no ano de 2013 para a área experimental, localizada no Município de Bom Jardim – RJ.

Foi realizado também o acompanhamento semanal da precipitação, de acordo com a estação meteorológica de Cordeiro-RJ, a mais próxima da área experimental (Figura 2). Todos os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013).

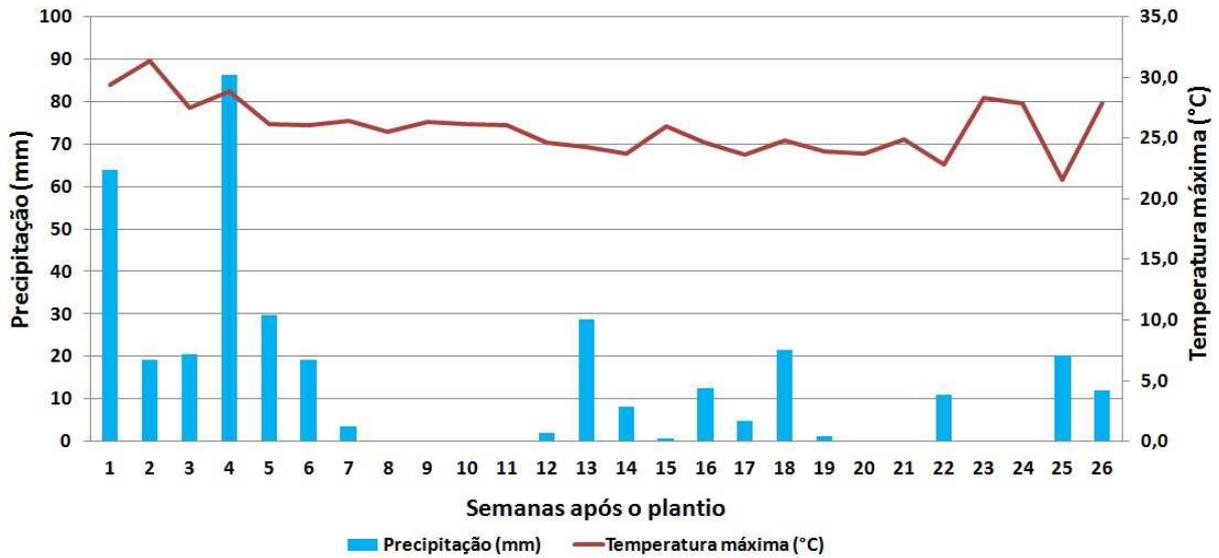


Figura 2: Precipitação e temperatura máxima semanal durante o período experimental. Eixo Y1 é precipitação total e o eixo Y2 média da temperatura máxima semanal. Fonte: INMET (2013).

### 2.3.2. Delineamento experimental

Para avaliação da sobrevivência e do crescimento inicial em campo foram selecionadas no viveiro as quatro mudas mais próximas da média de cada unidade experimental, das espécies angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) e ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus*), totalizando 16 mudas por tratamento e 64 por espécie. Para cada espécie foi constituído um experimento, constituindo-se dois experimentos implantados em campo. As espécies aroeira e embiruçu foram implantadas em outro campo experimental, porém, devido às interferências externas, seus dados foram desconsiderados.

Para cada espécie avaliada, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo quatro os tratamentos testados em campo, com 4 repetições por tratamento, cada repetição composta por 6 mudas.

### 2.3.3. Implantação e Manutenção dos experimentos

A área foi devidamente roçada e abertos berços com dimensões de 25 x 25 x 25 cm, respeitando-se o espaçamento de 3,2 x 1,7 m, adotado para as áreas de recomposição florestal da PCH Santa Rosa. Após a abertura das covas, as mesmas foram adubadas com 180 gramas de superfosfato simples por berço.

O controle de formigas cortadeiras teve início 30 dias antes do plantio, estendendo-se até a última avaliação. Foi adotado como método de controle de plantas espontâneas a capina manual em faixas com 1,2 m de largura, e roçada da vegetação herbácea nas entrelinhas de plantio. Esta operação foi realizada em duas ocasiões durante o período de avaliação.

### 2.3.4. Avaliações

As avaliações consistiram nas medições da altura da parte aérea e do diâmetro ao nível do solo, no momento do plantio (inicial) e novamente aos 6 meses após o plantio (final). Na última avaliação, obteve-se também a taxa de sobrevivência, de acordo com cada tratamento. Com as avaliações de crescimento em duas épocas, foi possível determinar o incremento das características de crescimento, através da fórmula (7) e a taxa de crescimento relativo de cada tratamento pela fórmula (8), citadas por Carneiro (1995):

$$\text{Incremento} = (\text{Medida 6 meses após o plantio}) - (\text{Medida de plantio}) \quad (7)$$

$$t (\%) = \frac{(\text{Medida 6 meses após o plantio} - \text{Medida de plantio})}{\text{Medida de plantio}} \times 100 \quad (8)$$

#### 2.4. Análise Estatística

Todos os dados obtidos em ambas as fases dos experimentos, com exceção da sobrevivência, foram submetidos à análise de variância, e posteriormente ao teste de Tukey ao nível de significância de 5%. As análises foram realizadas com auxílio do software Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Fase de Viveiro

##### 3.1.1. Caracterização dos substratos

Observa-se pela Tabela 3, que a alteração da proporção da mistura refletiu na composição química dos substratos, sendo que à medida que aumentou a proporção volumétrica de bio-sólido no substrato, maior foi o teor de N, P, K e S. Já Ca e Mg não apresentaram este padrão definido. O nitrogênio é normalmente o nutriente encontrado em maior abundância no bio-sólido (CALDEIRA et al., 2012a).

Tabela 3: Resultados da análise química dos substratos constituídos de diferentes proporções volumétricas de bio-sólido (BIO) e substrato comercial (SC)

Trat.	Composição SC:BIO	N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N	pH
		----- % -----								-
T1	100:0	0,49	0,17	0,16	1,49	0,58	0,31	11,85	24	4,2
T2	75:25	0,83	0,42	0,24	2,09	0,50	0,91	12,16	15	4,6
T3	50:50	0,92	0,35	0,32	1,62	0,49	0,91	11,23	12	4,7
T4	0:100	1,42	0,55	0,40	1,85	0,58	1,31	8,89	7	5,8

Teores totais determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método do Kjeldahl; Carbono orgânico – Método Walkley – Black (1932).

O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e quando em deficiência, o que mais limita o crescimento (SOUZA; FERNANDES, 2006). Caldeira et al. (2012a), avaliando diferentes composições de bio-sólido e substrato comercial na produção de mudas de *Tectona grandis*, também encontraram os maiores teores de macronutrientes no substrato constituído por bio-sólido.

Vários autores têm atribuído o maior crescimento das mudas produzidas em substratos contendo bio-sólido, aos teores de nutrientes encontrados neste resíduo, principalmente N e P (CALDEIRA et al., 2012 b; DELARMELINA et al., 2013; GOMES et al., 2013; ROCHA et al., 2013). Além dos nutrientes, estes autores ressaltam também o fornecimento de matéria orgânica advinda do bio-sólido.

Segundo Guerrini; Trigueiro (2004), a matéria orgânica é um componente fundamental dos substratos, cuja finalidade básica é aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes para as mudas e está diretamente relacionada ao carbono orgânico.

Observa-se pela Tabela 3 que o carbono orgânico (CO) diminuiu à medida que aumentou-se a proporção de biossólido no substrato. No entanto, Caldeira et al. (2012b) alertam para o fato do biossólido ser um excelente fornecedor de matéria orgânica, capaz de melhorar as características físicas do substrato, além disponibilizar N e P, o que provavelmente pode estar ligado mais a qualidade da matéria orgânica (relação C/N) presente no biossólido do que a quantidade da mesma.

Essa eficiência da matéria orgânica do biossólido em fornecer nutrientes possivelmente está relacionada à baixa relação C/N encontrada neste material, conforme mostra a Tabela 3. Por outro lado, o substrato comercial apresentou relação C/N de 24:1, considerada alta pela classificação de Gonçalves; Poggiani (1996). Segundo estes autores, materiais com altas relações C/N (> 18:1), normalmente apresentam alta atividade de microrganismos, que passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S. Os autores alertam ainda que, como consequência, as mudas poderão sofrer com a deficiência destes nutrientes, a não ser que a adubação, principalmente a de cobertura, seja feita de forma bastante criteriosa, o que devido a finalidade do experimento, não foi realizado.

Quanto ao pH, observa-se que segundo a recomendação de Gonçalves; Poggiani (1996), apenas o substrato formado por apenas biossólido, que apresentou pH de 5,8, enquadrou-se na faixa de pH adequada para substratos (5,5 – 6,5). No entanto, segundo Kratz; Wendling (2013), quando se utilizam substratos orgânicos, sem a adição de solo na composição, a recomendação é trabalhar em intervalo de pH entre 4,4 a 6,2. Kratz (2011) alerta ainda que resposta do crescimento das mudas em relação ao pH do substrato, esta intimamente ligada a ecologia da espécie, em que mudas de espécies adaptadas a condições de solos pobres e ácidos tendem a tolerar melhor o baixo pH do substrato.

Segundo Maeda et al. (2007), para obtenção de mudas de qualidade, além de adequada fertilidade, o substrato deve apresentar boas características físicas. As propriedades físicas são de grande importância, visto que após o acondicionamento do substrato nos recipientes, torna-se difícil modificá-las (VERDONCK, 1983).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da caracterização física dos substratos. O volume total de poros (VTP), ou porosidade total, apresentou médias que variaram de 62,5 a 67,9%, valores considerados médios segundo Gonçalves; Poggiani (1996) de substratos para produção de mudas florestais. De acordo com estes autores, a faixa adequada de porosidade dos substratos é de 75 a 85%. O substrato comercial apresentou o maior volume total de poros, enquanto o biossólido o menor. A menor porosidade apresentada pelo biossólido possivelmente está relacionado a trituração que o mesmo foi submetido após o processo de secagem natural, o que reduziu os agregados que contribuem para o aumento da porosidade total.

Tabela 4: Volume total de poros (VTP), macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC), capacidade de retenção de água (CRA) e densidade (DENS) dos substratos constituídos de diferentes proporções volumétricas de biossólido (BIO) e substrato comercial (SC).

Trat.	Composição SC: BIO	VTP ----- %	MAC ----- %	MIC ----- %	CRA ml 50 cm <sup>-3</sup>	DENS g cm <sup>-3</sup>
T1	100:0	67,95 a	29,90 a	38,05 c	17,03 b	0,40c
T2	75:25	67,05 a	28,26 a	38,79 c	19,40 b	0,43 bc
T3	50:50	65,24 b	17,95 b	47,29 b	22,00 a	0,49 ab
T4	0:100	62,54 c	11,12 c	51,42 a	25,71 a	0,56 a

Embora a porosidade seja importante, a mesma não pode ser analisada isoladamente, visto que sozinha não é capaz de traduzir a qualidade física de um substrato, devendo ser

interpretada de maneira fracionada em macro e microporosidade, associando estes dados à proporção de poros ocupados por água e ar.

Observa-se pela Tabela 4 que a proporção entre macro e microporos foi diferenciada. De acordo com a classificação de Gonçalves; Poggiani (1996), o substrato comercial apresentou valores de nível médio para macro e microporosidade. Já o biossólido apresentou valores baixos de macroporosidade (< 20%) e valores altos de microporosidade (> 50%). Isto indica que o biossólido possui alta capacidade de retenção de água e nutrientes, reflexo da elevada microporosidade, porém possui pouca aeração, reflexo da baixa macroporosidade deste substrato.

Segundo Guerrini; Trigueiro (2004), a microporosidade possui alta correlação com a capacidade de retenção de água do substrato. Este fato foi observado no trabalho, visto que a capacidade de retenção de água foi maior no substrato com maior proporção volumétrica de biossólido. O biossólido apresentou capacidade de retenção de 25,71 ml 50cm<sup>-3</sup> de substrato, enquanto o substrato comercial 17,03 ml 50cm<sup>-3</sup>, evidenciando a grande diferença entre os materiais.

Os valores de densidade aparente variaram de 0,40 g cm<sup>-3</sup> para o substrato comercial a 0,56 g cm<sup>-3</sup> para o biossólido. Trigueiro; Guerrini (2003) avaliando o uso do biossólido na produção de mudas de eucalipto encontraram resultados da caracterização física do substrato semelhante aos obtidos neste trabalho. Os autores observaram que à medida que elevaram a proporção de biossólido em relação ao substrato comercial, ocorreu aumento da densidade, o que embora não fosse esperado (devido ao teor de matéria orgânica do biossólido), é justificado pela fração mineral contida no biossólido.

### 3.1.2. Produção das mudas

Observa-se pela Figura 3, que para todas as espécies, as mudas produzidas apenas com substrato comercial apresentaram valores médios de altura da parte aérea significativamente inferiores, no final do ciclo de produção. De forma geral, os maiores valores médios são encontrados nos tratamentos cuja a proporção de biossólido foi 50 ou 100% do volume do substrato.

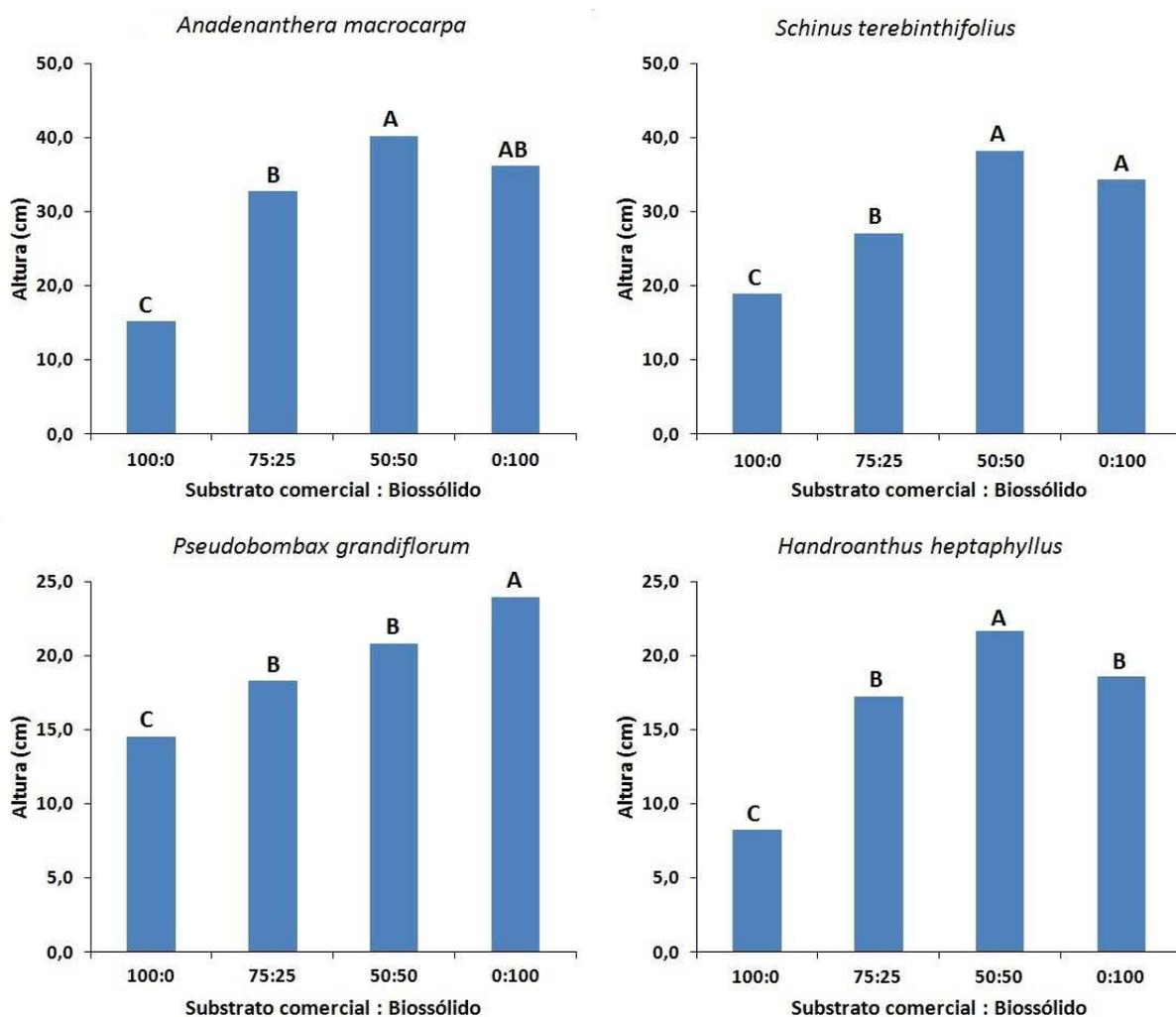


Figura 3: Valores médios de altura da parte aérea de mudas de quatro espécies florestais, produzidas em diferentes proporções de substrato comercial e de biossólido, aos 134 dias após a semeadura. Para cada espécie, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Vale ressaltar ainda, que apesar de apresentarem padrões de crescimento diferentes, o que é normal se tratando de espécies florestais distintas, de forma geral, todas as espécies responderam positivamente à presença do biossólido na composição do substrato.

As espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram comportamento similar, em que, para ambas não foram encontradas diferenças significativas em altura da parte aérea entre as médias dos tratamentos com 50 e 100% biossólido. Para as mudas de *Pseudobombax grandiflorum*, o maior valor médio em altura foi obtido no tratamento com 100% de biossólido, enquanto que para *Handroanthus heptaphyllus* o melhor resultado foi alcançado pelas mudas do tratamento com 50% de biossólido na composição do substrato. Este comportamento pode ser explicado pela interação das características físicas e químicas do substrato com a ecofisiologia das espécies.

Apesar de todos os tratamentos testados enquadrarem-se na classe de porosidade média, segundo a classificação de Gonçalves; Poggiani (1996), o biossólido apresenta maior proporção de microporos, e conseqüentemente maior capacidade de retenção de água e menor aeração do substrato. Com base nessas características, pode-se inferir que espécies como *Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius* e *Pseudobombax*

*grandiflorum*, adaptadas a solos com pouca aeração, geralmente locais susceptíveis a períodos de encharcamento ou alagamento (MARTINS, 2001; DURIGAN, 2002; CARVALHO, 2006; GONÇALVES et al. 2008), conseguem se adaptar às condições de maior umidade oferecida pelo substrato com 100% de biossólido.

*Handroanthus heptaphyllus*, uma espécie adaptada a locais secos e bem drenados, não suporta condições de elevada umidade (CARVALHO, 2006; GREGÓRIO et al., 2008). Esse fato pode explicar seu máximo crescimento em altura no substrato com proporção 50:50 de biossólido e substrato comercial. A mistura entre estes dois componentes aumentou a drenagem do substrato, devido à maior macroporosidade, característica marcante dos substratos comerciais (FERRAZ et al. 2005). O aumento da macroporosidade pelo substrato comercial aliada ao potencial fertilizante do biossólido pode ter favorecido o crescimento em altura neste tratamento.

Observa-se pela Figura 4 que o crescimento em diâmetro das mudas de *Handroanthus heptaphyllus* também foi maior no tratamento com 50% de biossólido. As mudas *Anadenanthera macrocarpa* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram um padrão de crescimento em diâmetro semelhante ao encontrado para altura da parte aérea, com os tratamentos que continham 50 e 100% de biossólido em sua composição apresentando maiores médias. Já as mudas de *Pseudobombax grandiflorum* não apresentaram diferenças significativas em diâmetro entre os tratamentos que continham biossólido na sua composição. Para todas as espécies, o tratamento com 100% substrato comercial apresentou as menores médias de diâmetro do coleto.

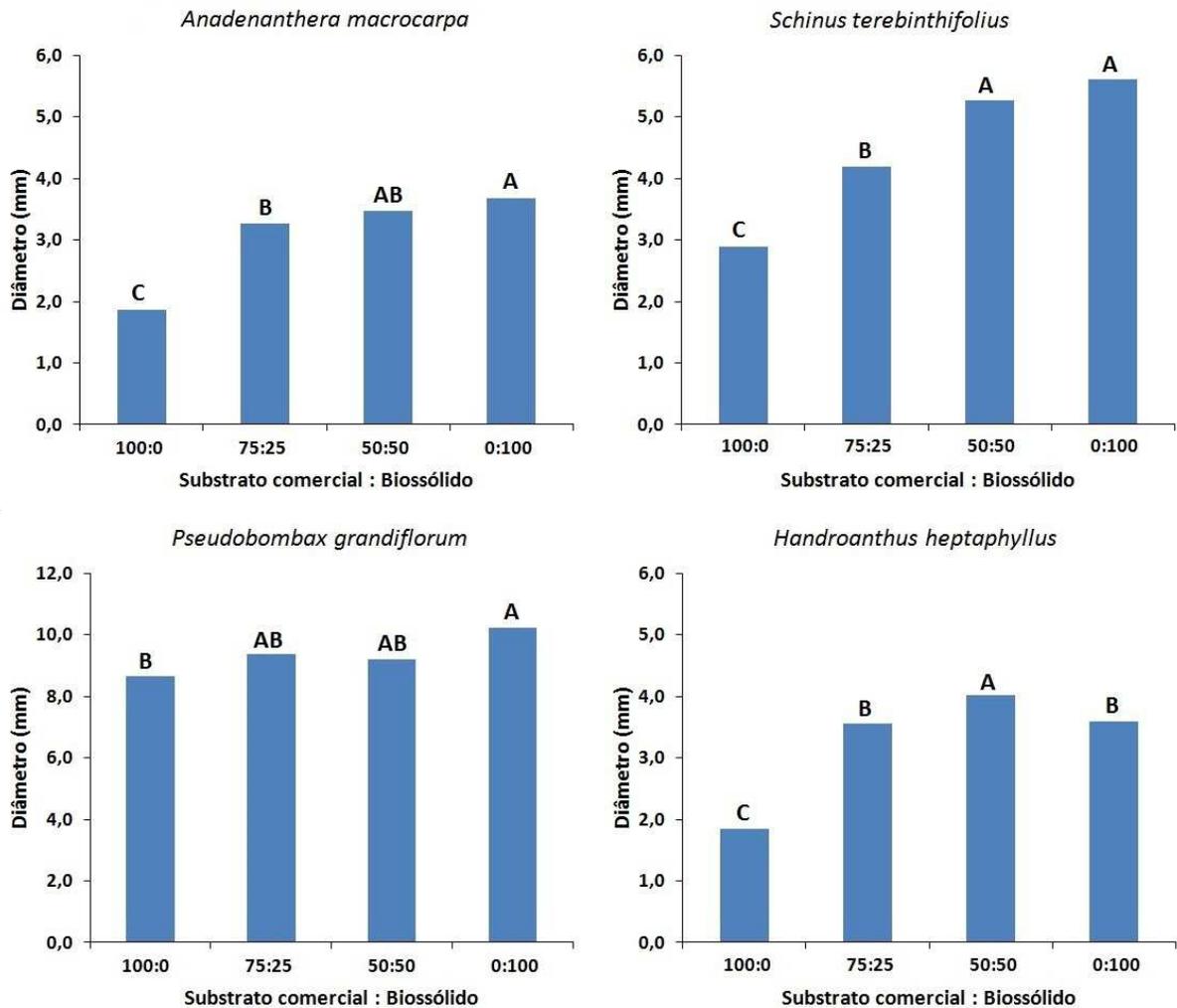


Figura 4: Valores médios de diâmetro do coleto de mudas de quatro espécies florestais, produzidas em diferentes proporções de substrato comercial e de biossólido, aos 134 dias após a semeadura. Para cada espécie, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O menor crescimento em diâmetro e altura das mudas produzidas no substrato comercial provavelmente pode estar relacionado menor concentração de nutrientes neste substrato (Tabela 3), além das características físicas como maior porosidade e menor capacidade de retenção de água do substrato comercial (Tabela 4), que podem ter ocasionado maior lixiviação de nutrientes durante o processo de produção. Como os tratamentos não receberam nenhuma adubação mineral complementar, os nutrientes contidos no substrato comercial, provavelmente não foram suficientes para manter o adequado crescimento das mudas em altura e diâmetro.

Nos processos de avaliação de mudas florestais, a altura e o diâmetro são considerados um dos parâmetros mais antigos na classificação e seleção de mudas e continuam apresentando contribuição importante (LELES et al., 2001; GOMES; PAIVA, 2004; BRACHTVOGEL; MALAVASI, 2010), mas os mesmos não devem ser analisados separadamente (CARNEIRO, 1995). Quanto mais parâmetros forem analisados conjuntamente, maior será a certeza de qualidade da muda produzida.

Segundo Rocha et al. (2013), a relação altura/diâmetro (H/D) constitui um dos parâmetros usados para avaliar a qualidade de mudas florestais, pois, além de refletir o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo após o plantio. Com

exceção das mudas de *Anadenanthera macrocarpa* do tratamento T3, que apresentaram média 12,27 de relação H/D, o restante das mudas obtiveram valores abaixo de 10 (Tabela 5), padrão considerado bom e recomendado por Birchler et al. (1998). Mudas com alta relação H/D podem apresentar estiolamento e menor índice de sobrevivência no campo, devido ao tombamento decorrente dessa característica, podendo resultar em morte ou deformações das plantas no campo (ABREU, 2011).

Tabela 5: Características de qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em substrato comercial com proporções crescentes de bio-sólidos em sua composição, aos 134 dias após a semeadura.

Trat.	Composição SC: BIO	H/D ---	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	MSR (g planta <sup>-1</sup> )	MSPA/MSR ---	IQD ---
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Angico vermelho)						
T1	100:0	8,20 c	0,44 b	0,79 b	0,55 c	0,14 b
T2	75:25	9,45 bc	2,03 a	2,02 a	1,01 b	0,38 a
T3	50:50	12,27 a	2,15 a	1,44 ab	1,50 a	0,26 ab
T4	0:100	9,86 b	2,29 a	1,75 a	1,36 a	0,36 a
<i>Schinus terebinthifolius</i> (Aroeira vermelha)						
T1	100:0	6,59 ab	2,12 c	2,59 c	0,82 a	0,63 d
T2	75:25	6,47 ab	2,77 b	3,60 b	0,77 a	0,88 c
T3	50:50	7,25 a	3,75 a	5,82 a	0,65 b	1,21 b
T4	0:100	6,12 b	4,10 a	5,68 a	0,72 ab	1,43 a
<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Embiruçu)						
T1	100:0	1,68 c	4,18 b	4,18 b	1,00 b	3,12 a
T2	75:25	1,96 bc	4,65 ab	4,19 b	1,11 b	3,09 a
T3	50:50	2,26 ab	5,30 ab	4,60 a	1,15 b	3,18 a
T4	0:100	2,35 a	6,46 a	4,77 a	1,35 a	3,62 a
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Ipê roxo)						
T1	100:0	4,76 a	2,13 c	2,49 c	0,85 bc	0,82 b
T2	75:25	5,41 a	2,92 b	4,04 a	0,72 c	1,13 a
T3	50:50	4,86 a	3,71 a	3,54 ab	1,06 b	1,24 a
T4	0:100	5,18 a	3,90 a	2,84 bc	1,37 a	1,03 ab

Para cada espécie, médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Delarmelina et al. (2013) alertam que este índice é altamente variável de acordo com a espécie, necessitando de maiores estudos para determinação de classes de valores ótimos para espécies da flora brasileira. Esta variabilidade pode ser observada no presente trabalho, visto a heterogeneidade dos valores encontrados para as diferentes espécies. Provavelmente o principal fator atuante na relação H/D seja a estratégia de crescimento da espécie. Por exemplo, foi observado que as mudas de embiruçu primeiramente priorizam a acumulação de reservas no coleto para depois investir em crescimento em altura e, portanto, apresentaram os baixos valores de relação H/D até a idade avaliada. Já angico vermelho que, normalmente, na fase de viveiro tende a crescer mais em altura, e conseqüentemente apresentar maiores valores de H/D.

Em relação à matéria seca da parte aérea (MSPA), observa-se pela Tabela 5 que para as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Handroanthus heptaphyllus* as maiores médias foram alcançadas pelas mudas dos tratamentos T3 e T4. Já para as espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Pseudobombax grandiflorum* não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos que continham bio sólido em sua composição. Estes resultados corroboram os obtidos por Rocha et al. (2013) para *Eucalyptus* sp. e Padovani (2006) para *Inga uruguensis* e *Lafoensia glyptocarpa*, que constataram que o bio sólido influenciou positivamente no incremento em MSPA. Os autores atribuem o maior incremento em MSPA à maior disponibilidade de nutrientes no bio sólido, principalmente N e P, conforme também evidenciado neste trabalho (Tabela 3). Segundo Marschner (1997), o N é requerido em grande quantidade para produção de novos tecidos e junto ao P são considerados os nutrientes que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para a matéria seca radicular (MSR), as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Pseudobombax grandiflorum* apresentaram as maiores médias nos tratamentos T3 e T4. A espécie *Anadenanthera macrocarpa* obteve os maiores valores nos tratamentos que continham bio sólido (T2, T3 e T4), não diferindo estatisticamente entre si. Desta forma, pode-se inferir que assim como para a MSPA, o maior incremento em MSR está possivelmente relacionado a maior concentração de nutrientes no bio sólido.

Para *Handroanthus heptaphyllus* as menores médias de MSR foram obtidas nos tratamentos T1 e T4, que não diferiram estatisticamente entre si, ratificando assim a importância da interação positiva entre as características físicas e químicas dos dois substratos dependendo da ecofisiologia da espécie. Embora o substrato comercial possua um adequado balanço entre macro e microporos, aliado a uma menor densidade (Tabela 4), o que seria favorável ao crescimento radicular, o mesmo não possui características químicas adequadas, o que pode ter prejudicado o crescimento do sistema radicular das mudas do tratamento T1 (substrato comercial). Já no tratamento T4 (bio sólido), que apresenta maior disponibilidade de nutrientes, as características físicas não permitiram pleno crescimento das raízes da espécie. Segundo Gonçalves; Poggiani (1996) a formação do sistema radicular está associado, entre outros fatores, com a capacidade de aeração, drenagem, retenção de água e disponibilidade balanceada de nutrientes do substrato.

Para um melhor entendimento da MSPA e da MSR, é interessante avaliar a relação entre estas variáveis (SAIDELLES et al., 2009; REIS et al., 2012; ROCHA et al., 2013). Caldeira et al. (2008) defendem que a relação MSPA/MSR deve ser de 2:1 para demonstrar adequado equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular. Já José et al. (2009) acreditam que esse balanço deve ser menor que 2,0 para que o sistema radicular tenha um tamanho suficiente para permitir o suprimento adequado de água para parte aérea.

Levando-se em consideração os valores referenciais encontrados na literatura, pode-se afirmar que as mudas das diferentes espécies apresentaram valores aceitáveis para este índice de qualidade. Nota-se ainda, que com exceção da *Schinus terebinthifolius*, os menores valores médios deste índice foram encontrados no tratamento só com o substrato comercial. Segundo Caldeira et al. (2013), a relação MSPA/MSR é menor em ambientes de menor fertilidade, podendo ser considerada estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição.

Ainda tratando dos parâmetros de qualidade, o índice de qualidade de Dickson (IQD) é um dos mais completos para avaliação da qualidade de mudas florestais, pois em seu cálculo são considerados a robustez (relação H/D) e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (massa seca total e relação MSPA/MSR), ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade (FONSECA, 2000; CALDEIRA et al., 2008). Quanto maior o valor do IQD, melhor é a qualidade das mudas dentro daquele lote. Altos valores de IQD são alcançados quando as mudas possuem baixo

valor de relação H/D (mudas sem estiolamento), baixo valor de relação MSPA/MSR (mudas com sistema radicular capaz de suprir a parte aérea), e um alto valor de matéria seca total.

Para as espécies *Anadenanthera macrocarpa* e *Handroanthus heptaphyllus*, os tratamentos que continham biofósforo em sua composição (T4, T3 e T2) apresentaram as maiores médias de IQD e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 5). Para *Pseudobombax grandiflorum* não houve diferenças estatísticas de IQD entre os tratamentos, mostrando que apesar das mudas produzidas com biofósforo apresentarem maiores médias de crescimento, todas apresentaram o mesmo padrão de crescimento, ou seja, as mudas cresceram balanceadamente em todos os tratamentos. Já a espécie *Schinus terebinthifolius* mostrou-se altamente responsiva à presença de biofósforo no substrato, apresentando diferenças estatísticas de IQD entre todos os tratamentos, com as maiores médias no tratamento com 100% de biofósforo e as menores no tratamento apenas com substrato comercial.

De maneira geral, pode-se inferir que o biofósforo contribuiu positivamente para o crescimento das mudas, independentemente da espécie. Pode-se observar ainda pela Figura 5, que as mudas que receberam biofósforo em sua composição, apresentaram qualidade visivelmente superior aquelas do tratamento apenas com substrato comercial. É possível observar também para todas as espécies, gradual diferença de coloração na folhagem das mudas à medida que aumentou-se a proporção de biofósforo no substrato. As mudas produzidas exclusivamente com biofósforo (100%) apresentaram coloração verde escura, típica de mudas bem nutridas, e as produzidas apenas com substrato comercial (0%), folhas amareladas, indicando haver sintomas de deficiência de nutrientes. Aliado as demais características, este fato pode credenciar o biofósforo como um material com reais potenciais para aumento da qualidade, crescimento e nutrição de mudas florestais.

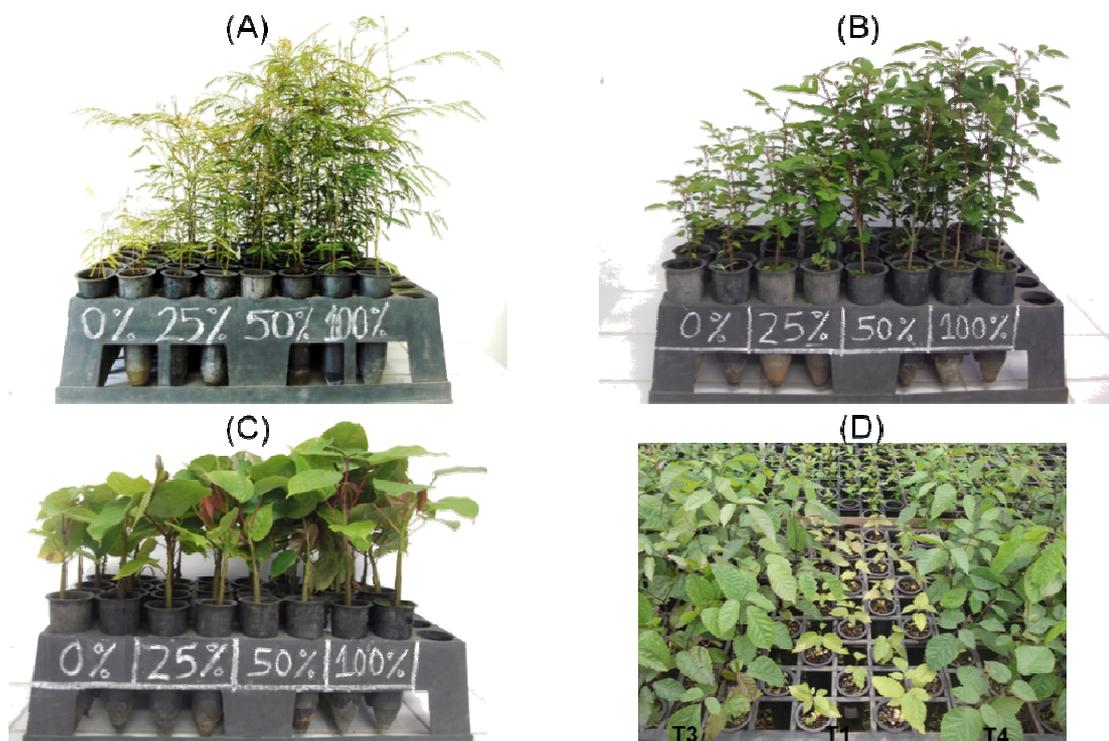


Figura 5: Mudanças de *Anadenanthera macrocarpa* (A), *Schinus terebinthifolius* (B), *Pseudobombax grandiflorum* (C) e *Handroanthus heptaphyllus* (D) produzidas sob diferentes concentrações de biofósforo (percentagem em sequência crescente) e substrato comercial, aos 134 dias após a sementeira.

Levando-se em consideração a diversidade genética das espécies nativas da Mata Atlântica, mais estudos devem ser feitos a fim de abranger maior número de espécies, pois como observado neste trabalho, cada espécie pode requerer uma composição de substrato diferente, pois possui uma autoecologia diferente. Com maior banco de informações, posteriormente poderá ser possível separar as espécies em grupos semelhantes, definindo a melhor composição de substrato para cada grupo.

### 3.2. Fase de campo

Segundo Pezzuti; Caldato (2011), o sucesso da implantação começa com a qualidade morfológica das mudas, que está diretamente associada com a sobrevivência e crescimento inicial em campo. Portanto, torna-se indispensável a avaliação pós plantio para definição da real qualidade das mudas produzidas. Na Tabela 5 são apresentadas as taxas de sobrevivência e o crescimento inicial até os 180 dias após o plantio. Observa-se que as mudas de *Anadenanthera macrocarpa* apresentaram baixa taxa de sobrevivência aos 6 meses após o plantio, o que além da qualidade das mudas, pode estar diretamente ligado as condições ambientais enfrentadas em campo.

Tabela 5: Sobrevivência e crescimento pós plantio de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* e *Handroanthus heptaphyllus* produzidas com diferentes proporções de substrato comercial e bio sólido, aos 180 dias após o plantio.

Trat.	Composição SC: BIO	Sobrev. (%)	H 0 -----	H 180 (cm) -----	Inc. H -----	D 0 -----	D 180 (mm) -----	Inc. D -----
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico vermelho)								
T1	100:0	43,8	15,3 c	19,0 c	3,7 b	1,9 c	2,6 c	0,7 a
T2	75:25	50,0	32,9 b	37,5 b	4,6 b	3,3 b	4,1 b	0,8 a
T3	50:50	56,3	40,2 a	50,8 a	10,6 a	3,5 ab	4,7 a	1,3 a
T4	0:100	68,8	36,2 ab	46,5 ab	10,2 a	3,7 a	4,5 ab	0,8 a
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (ipê roxo)								
T1	100:0	56,3	8,3 c	10,3 c	2,0 b	1,84 c	2,3 b	0,5 c
T2	75:25	93,7	17,3 b	27,0 a	9,8 a	3,57 b	5,9 a	2,3 a
T3	50:50	100,0	21,7 a	25,3 a	3,6 b	4,01 a	5,2 a	1,2 b
T4	0:100	100,0	18,6 b	30,6 a	12,0 a	3,59 b	5,3 a	1,7 b

Para cada espécie, médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). H 0 = altura de plantio; H 180 = altura 180 dias após o plantio (dap); Inc. H = incremento em altura no período analisado; D 0 = diâmetro do coleto no plantio; D 180 = diâmetro do coleto aos 180 dap; Inc. D = incremento em diâmetro no período analisado.

O baixo índice de sobrevivência das mudas de *Anadenanthera macrocarpa* pode ser atribuído às condições de déficit hídrico do solo, em função da baixa incidência de precipitação, que coincidiu com esta fase inicial das mudas em campo (Figura 1). A sobrevivência em campo está diretamente ligada à qualidade da muda produzida e às características ecofisiológicas de adaptação da espécie às condições ambientais locais (Valdecantos et al., 2011). Segundo Carvalho (2006), esta é uma espécie adaptada a solos úmidos, mal drenados e até encharcados, portanto, as condições de déficit hídrico no solo podem ter contribuído para baixa taxa de sobrevivência das mudas de *Anadenanthera macrocarpa*.

Por outro lado, *Handroanthus heptaphyllus*, é uma espécie adaptada a locais secos e bem drenados, e não suporta condições de elevada umidade (Martins, 2001), portanto, tende

a adaptar-se melhor às condições de déficit hídrico no solo, o que favoreceu o melhor estabelecimento das mudas desta espécie, mesmo em condições de baixa precipitação. Segundo Borges (2012), *Handroanthus heptaphyllus* possui mecanismos de modificação da espessura foliar que aumentam a dissipação de calor, aumentando assim sua sobrevivência e adaptação a ambientes secos e com alta irradiância.

A adoção de técnicas como a aplicação de polímeros hidrorretentores poderia ter minimizado a influência do déficit hídrico no solo sobre a sobrevivência das plantas. Segundo Vale et al. (2006), além de aumentar a capacidade de retenção de água no solo, os polímeros hidrorretentores podem também minimizar os efeitos de possíveis veranicos na fase de implantação das mudas, como o ocorrido após a implantação (Figura 1).

Apesar de todos os tratamentos referentes à espécie *Anadenanthera macrocarpa* terem apresentado índices de sobrevivência em campo abaixo dos 90%, percentual esse indicado por Bellotto et al. (2010) como de valores ótimos de sobrevivência para projetos de recomposição florestal. Houve uma tendência de maior sobrevivência das mudas produzidas com maiores proporções de biossólido. Esses resultados podem ser explicados, em parte, pela maior qualidade das mudas produzidas nos tratamentos com maiores proporções de biossólido. As mudas de *Handroanthus heptaphyllus* oriundas dos tratamentos que continham biossólido em sua composição (T2, T3 e T4), apresentaram sobrevivência superior a 90%, diferentemente do observado para as mudas advindas do tratamento T1 (substrato comercial), que não apresentaram níveis aceitáveis de sobrevivência.

Segundo a definição de Johnson & Cline (1991), mudas de alta qualidade são aquelas produzidas a baixo custo, que podem se adequar aos atuais sistemas de plantio, além de sobreviver e crescerem de forma satisfatória após levadas para campo. Portanto, além da sobrevivência, é essencial que seja realizado o acompanhamento do crescimento inicial das mudas após implantadas.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5, pode-se inferir que os tratamentos T3 e T4 foram os que melhor se adequaram para a produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* e *Handroanthus heptaphyllus*. Para ambas as espécies, as maiores médias de altura e diâmetro aos 180 dias após o plantio foram observadas para as mudas oriundas dos dois tratamentos com maiores proporções de biossólido, ratificando o potencial do biossólido na composição de substratos para a produção das mudas florestais.

A espécie *Anadenanthera macrocarpa* é reconhecida por apresentar rápido crescimento, o que a torna interessante para reflorestamentos ambientais (Gonçalves et al., 2008). No entanto, no presente experimento, seu incremento em altura e diâmetro aos 180 dias após o plantio foi pequeno. O mesmo foi observado para a espécie *Handroanthus heptaphyllus*, que apesar de maior sobrevivência, também obteve crescimento aquém do esperado. Os baixos valores de incremento em altura e diâmetro do coleto, podem ser creditados às condições pouco favoráveis ao crescimento das espécies florestais nas estações de outono e inverno, além da baixa incidência de precipitação.

O adequado suprimento hídrico das mudas florestais, após o seu plantio no campo é considerado requisito básico para se obter o pleno estabelecimento e favorecer o crescimento inicial das mudas florestais (LARCHER, 1986). O referido autor acrescenta ainda que a capacidade de adaptação a estresses ambientais é diferenciada entre as espécies florestais, o que também foi identificado no experimento, em que *Handroanthus heptaphyllus* apresentou melhor adaptação às condições locais do que *Anadenanthera macrocarpa*, pois apresentou maiores taxas de sobrevivência.

Os tratamentos T3 e T4 foram os tratamentos que apresentaram os melhores resultados para ambas as espécies, tanto na fase de produção de mudas, como na fase de crescimento inicial após o plantio, o que evidencia o potencial de utilização do biossólido na produção de mudas de florestais.

A adoção de bioestabilizado como componente de substrato para produção de mudas florestais pode ser importante para o desenvolvimento florestal regional, pois aumenta a disponibilidade local de substrato e conseqüentemente diminui o custo de produção das mudas. O bioestabilizado apresentou potencial para produção de mudas em composições superiores a 50% em mistura com substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada, porém, pode-se preferir o uso exclusivo de bioestabilizado como substrato, tendo em vista que, o mesmo constitui um resíduo sólido urbano e alternativas de disposição final mais sustentáveis é uma medida que se impõe com urgência.

#### 4. CONCLUSÃO

O bioestabilizado apresentou potencial para composição de substratos na produção de mudas florestais, podendo inclusive ser utilizado na proporção de 100%.

As mudas produzidas nos tratamentos com maiores proporções de bioestabilizado, T3 e T4, apresentaram as maiores médias dos parâmetros de qualidade na fase de viveiro, assim como resultaram em maior sobrevivência e crescimento inicial após o plantio em campo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Qualidade de mudas para recomposição florestal produzidas em diferentes recipientes**. 2011. 21f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

BASIL, G. et al. Efecto del compost de bioestabilizados em la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (Ciprés de la cordillera). **Ciencia del Suelo**, Argentina, v. 27, n. 1, p. 49 – 55, 2009.

BELLOTO, A.; et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF / ESALQ. 2010.256p.

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

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 7, n. 1, p. 109-121, 1998.

BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert em viveiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.223-232, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia: Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil. **Folhas sc. 21. Juremo: Geomorfologia, pedologias, vegetação e uso potencial da terra**, Rio de Janeiro, 1980; 20: 460.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – 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, 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2010.

CALDEIRA, M. V. W. et al. 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. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Floresta**, Curitiba, v.28, n.12, p.19-30, 2000.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012b.

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

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**. Brasília, DF: Embrapa. Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

DELARMELINA, W. M. et al. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Agroambiente on-line**, Dourados, v.7, n.2, p.184 – 192, 2013.

DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. 2º Edição. São Paulo: Páginas & letras editora e gráfica. 2002. 65p.

FAUSTINO, R. et al. 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.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO GRANDE DO SUL (FEPAM). **Base dos estudos de fauna, flora e recursos hídricos**. Porto Alegre, 2008. v. 3, 101 p. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam\\_silvic.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam_silvic.asp)>. Acesso em: 15 março 2014.

FERRAZ, M. V.; CANTURION, 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.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha*(L.) Blume., *Cedrela fissilis* Veli. e *Aspidosperma polyneuron* Müll Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** 2000. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. P. **Viveiros florestais** (propagação sexuada). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 116p. (Caderno Didático, 72).

GOMES, J.M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p. 113-127, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. 1996, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Campinas: SBCS, 1996. p. 133 - 180.

GONCALVES, E. O. et al. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.)Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista árvore**, Viçosa, v.32, n.6, p. 1029-1040, 2008.

GREGÓRIO, T. A. et al. Efeito do alagamento sobre o crescimento inicial de *Tabebuia heptaphylla*(Vell.) Toledo (Ipê-roxo). **Natureza on line**, Santa Tereza, v. 6, n. 2, p. 91 - 98, 2008.

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. 6, p. 1069-1076, 2004.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação diária e tempertaura máxima Cordeiro,RJ.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?>> Acesso em 15 março 2014.

JOHNSON, J. D.; CLINE, M. L. Seedling quality of southern pines. In: DUREYA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 143-162.

JOSÉ, A.C.; DAVIDE, A.C.; OLIVEIRA, S.L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v.11, n.2, p.187-196, 2005.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. de. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n.1, p. 125 – 136, 2013.

KRATZ, D. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage e *Mimosa scabrella* Benth.** 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1986, 320 p.

LELES, P. S. S. et al. Crescimento e arquitetura radicial de plantas de eucalipto oriundas de mudas produzidas em blocos prensados e em tubetes, após o plantio. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 10-19, 2001.

LÓPEZ, R. et al. Urban composts as an alternative for peat in forestry nursery growing media. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, Kagawa, v. 2, n. 1, p. 60 – 66, 2008.

MAEDA, S. et al. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.54, p. 97 – 104, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Ed. Aprenda fácil, 2001. 75 p.

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.

MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.1489-1498, 2009.

MORAIS, S. M. J. et al. Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare (SANEPAR)**, Curitiba, v.6, n.6, p.44-49, 1996.

NÓBREGA, R. S. A. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, G. R. **Uso de biossólido na composição de substratos para produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica**. 2013. 32 p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PAIVA, A. V. et al. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v.37, n.84, p.499-511, 2009.

REIS, B. E. et al. Crescimento e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.) em resposta à adubação com potássio e enxofre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 389-396, 2012.

RICCI, A. B. et al. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.535-542.2010.

RIGUEIRO, A. R.; MOSQUERA, M. R. L. Utilización de lodo de depuradora urbana como componente de substrato para la obtención de planta forestal de *Eucalyptus globulus* Labill. **Boletín Informativo CIDEU**, Huelva, v. 3, n.1, p. 145-154, 2007.

ROCHA, J. H. T. et al. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.73, p. 27 – 36, 2013.

SAIDELLES, F. L. F. et al. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril da mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 1173 – 1186, 2009.

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

SCHEER, M. B. et al. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta ambiente**, Seropédica, v.19, n.1, p.55-65, 2012.

SELIVANOVSKAYA, S. Y.; LATYPOVA, V. Z.; ARTAMONOVA, L.A Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. **Journal of Environmental Science and Health –Part A**, New York,v.38, n.8, p.1549-1556, 2003.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R. **BHBRASIL: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1998. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>>. Acesso em: 15 março 2014.

SOUZA, C. A. M. et al. Desenvolvimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 243-249, 2006.

SOUZA, S. R; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 432 p. 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. C. **The water balance**. Centeron: Drexel institute of Technology, 1955. 104p.

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.

VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. VALLEJO, V. R. Differential field response of two Mediterranean tree species to inputs of sewage sludge at the seedling stage. **Ecological Engineering**. V.37, n.1, p. 1350 – 1359, 2011.

VALE, G. F. R.; CARVALHO, S. P.; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 7 – 13, 2006.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VERDONOK, O. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.150, p.467-473, 1984.

### **CAPITULO III:**

## **PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Schinus terebinthifolius* EM BIOSÓLIDO E SUBSTRATO COMERCIAL SOB DOSES DE MONOAMÔNIO FOSFATO**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar o crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira pimenteira) produzidas com biossólido (BIO) e com substrato comercial (SC), sob diferentes doses de monoamônio fosfato (MAP) em adubação de cobertura e, avaliar o crescimento dessas após o plantio em campo. Os tratamentos com biossólido foram T1: BIO+0,00 g MAP muda<sup>-1</sup> e T2: BIO+0,05 g MAP muda<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos foram com substrato comercial (SC) – T3: SC+0,00 g de MAP muda<sup>-1</sup>; T4: SC+0,05 g de MAP muda<sup>-1</sup>; T5: SC+0,10 g de MAP muda<sup>-1</sup>; T6: SC+0,20 g de MAP muda<sup>-1</sup>; T7: SC+0,40 g de MAP. muda<sup>-1</sup>, aplicados a cada 21 dias, em adubação de cobertura. Foram avaliados a altura e o diâmetro do coleto a cada 21 dias até os 155 dias após a semeadura, sendo que na última avaliação foram avaliados também outros parâmetros de qualidade de mudas. Nas avaliações em campo, avaliou-se a sobrevivência e o crescimento em altura e diâmetro aos 6 e 12 meses após o plantio. O biossólido favoreceu o crescimento das mudas no viveiro, resultando em mudas de qualidade morfológica superior às produzidas em substrato comercial sob adubação de cobertura. Tanto a utilização de biossólido, quanto o uso de adubação de cobertura em níveis mais elevados podem ser utilizados como ferramenta para aumentar o estabelecimento e o crescimento das mudas de aroeira pimenteira em campo.

**Palavras chave:** lodo de esgoto; fertilização; aroeira pimenteira.

## ABSTRACT

The objective of this study was to compare the growth and nutrition of seedlings of *Schinus terebinthifolius* Raddi produced with biosolids (BIO) and commercial substrate (SC) under different concentrations of monoammonium phosphate (MAP) in topdressing and evaluate their growth after planting in Field. The treatments of biosolids were: T<sub>1</sub>: BIO+0,00 g MAP muda<sup>-1</sup> e T<sub>2</sub>: BIO+0,05 g MAP muda<sup>-1</sup>. The other treatments were with commercial substrate (SC): T<sub>3</sub>: SC+0,00 g MAP muda<sup>-1</sup>; T<sub>4</sub>: SC+0,05 g MAP muda<sup>-1</sup>; T<sub>5</sub>: SC+0,10 g MAP. Muda<sup>-1</sup>; T<sub>6</sub>: SC+0,20 g MAP muda<sup>-1</sup>; T<sub>7</sub>: SC+0,40 g MAP. Muda<sup>-1</sup>, applied in topdressing. Field survival and growth in height and diameter at 6 and 12 months was assessed after planting. Biosolids favored the growth of seedlings in the nursery, resulting in higher seedling morphological quality to those produced in commercial substrate under topdressing. Both the use of biosolids as the use of topdressing at higher levels can be used as a tool to enhance the establishment and growth of seedlings of *Schinus terebinthifolius* in the field.

**Key words:** sewage sludge; fertilization; pepper tree.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas florestais nativas da flora brasileira em quantidade e qualidade é uma das fases mais importantes para o sucesso da recomposição florestal, que aliado as condições edafoclimáticas locais no momento e logo após o plantio, tem grande influência na sobrevivência e crescimento inicial em campo. Nos últimos anos têm se difundido o sistema de produção de mudas nativas que usa como recipientes de cultivo os tubetes de polipropileno de 280 cm<sup>3</sup>. Por meio deste sistema tem-se conseguido elevar o grau de automação dos viveiros florestais, reduzir custos e tempo de produção das mudas, ao mesmo tempo em que se observa uma crescente melhoria do padrão de qualidade destas.

Na produção de mudas em tubetes deve-se ter atenção redobrada na escolha do substrato, já que estes recipientes requerem substratos orgânicos porosos, o que normalmente ocasiona lixiviação de nutrientes e conseqüentemente necessidade de reposição dos mesmos. Neste caso, é imprescindível que se faça constantes adubações de cobertura, visando suprir a demanda das mudas. Um dos fertilizantes mais utilizados para esta finalidade é o Monoamônio fosfato (MAP), fonte de fósforo (48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e de nitrogênio (11%) (DAVIDE; SILVA, 2005).

A escolha do substrato deve atender além das características técnicas desejáveis, alguns requisitos básicos, como ser barato e facilmente disponível em quantidade e qualidade. A disponibilidade de substrato adequado em quantidade suficiente para produzir mudas de qualidade em grande escala é um dos principais desafios dos viveiristas (VARELA; MARTINEZ, 2013).

Neste contexto, a proposta de utilização de resíduos urbanos como componentes para substrato na produção de mudas florestais, surge como uma alternativa factível, visto que, em geral são materiais disponíveis em grandes quantidades, a um baixo custo e possuem elevado valor nutricional (CALDEIRA et al., 2000). Dentre os resíduos urbanos com maior potencial para reciclagem florestal encontra-se o biossólido (lodo de esgoto estabilizado). Os altos teores de nutrientes e matéria orgânica presentes neste resíduo podem promover significativa economia de fertilizantes químicos aos viveiristas, assim como aumento na qualidade das mudas produzidas (TRIGUEIRO; GUERRINE, 2003). Desta forma, o uso de biossólidos na produção de mudas florestais pode significar não apenas uma alternativa de interesse ambiental, como também de relevante interesse econômico, trazendo vantagem tanto para os geradores do resíduo como para os viveiristas.

Para testar a efetividade do uso do biossólido na produção de mudas florestais é importante avaliar não apenas a qualidade das mudas produzidas, como também o crescimento destas após o plantio em campo. Deve-se ainda priorizar os estudos de espécies de grande valor ambiental e que sejam amplamente utilizadas em plantios de recomposição florestal. Neste contexto, a espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira pimenteira) pertencente a família Anacardiaceae enquadra-se neste perfil. Segundo Lorenzi (2002), esta é uma espécie normalmente de pequeno porte, crescimento rápido e ciclo relativamente curto, heliófila e pioneira. Geralmente colonizam em áreas abertas, especialmente margens de rios e terrenos aluviais, e possuem grande atratividade para fauna (MARTINS, 2001).

O presente trabalho teve como objetivo comparar o crescimento de mudas de aroeira pimenteira produzidas com biossólido e substrato comercial, sob concentrações de monoamônio fosfato (MAP) em adubação de cobertura e avaliar a sobrevivência e crescimento destas após plantio em campo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em duas etapas: primeiro a produção das mudas de aroeira pimenteira (fase de viveiro), conduzida no período de setembro de 2012 a fevereiro de 2013. Em seguida, a segunda fase (fase de campo), de fevereiro de 2013 a fevereiro de 2014, que consistiu na implantação das mudas em campo, seguido pelas avaliações de sobrevivência e crescimento.

### 2.1. Produção de mudas

A fase de viveiro foi desenvolvida no Viveiro Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizado no município de Seropédica, RJ. O clima de Seropédica segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw. Segundo os dados dos últimos dez anos da estação meteorológica da PESAGRO-RJ, a mais próxima ao local do experimento, a precipitação média anual é de 1.245 mm, sem estação seca definida, e a temperatura média anual é de 23,7 °C.

Para a composição dos tratamentos foram utilizados biofóssido e substrato comercial à base de casca de pinus bioestabilizada, sob diferentes concentrações do fertilizante químico monoamônio fosfato (MAP) aplicado em adubação de cobertura. O biofóssido utilizado foi disponibilizado Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE), sendo oriundo da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Alegria, localizada no bairro Caju, Rio de Janeiro – RJ. O esgoto tratado pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais e tratado por processo de digestão anaeróbica.

O biofóssido foi devidamente caracterizado de acordo com as exigências da resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) e, de acordo com os resultados das análises, atendeu aos parâmetros relativos à concentração dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos (Tabela 1), sendo classificado como de classe A.

Tabela 1: Concentração de microrganismos patogênicos no biofóssido proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

Parâmetro	Unidade	CONAMA <sup>1</sup>	ETE Alegria <sup>1</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP g-1 ST	< 1000	< 0,04
Ovos Viáveis de Helmintos	Ovos g-1 ST	< 0,25	< 0,01
Salmonellasp.	Presente/ausente em 10g ST	Ausente	Ausente

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no biofóssido da ETE Alegria. NMP: Número mais provável; ST: Sólidos totais.

O biofóssido atendeu também aos parâmetros relativos à presença de compostos inorgânicos, apresentando valores inferiores aos máximos estipulados pela legislação e, portanto, está apto para uso em ambientes agrícolas (Tabela 2). Para a formulação dos substratos, o biofóssido da ETE Alegria, que primeiramente passa pelo processo de secagem natural como método de redução de patógenos, foi peneirado com auxílio de peneiras de malha de 5 mm.

Tabela 2: Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas no biossólido proveniente da ETE Alegria, Rio de Janeiro – RJ, em comparação ao estabelecido pela Resolução CONAMA n° 375/2006.

	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
CONAMA	41	1300	39	300	1500	100 <sup>1</sup>	17	50	420	100	2800
ETE Alegria	2,62	157	0,20	197	267	70	0,03	22,6	40,2	5,90	681

<sup>1</sup>valores máximos permitidos pela resolução CONAMA n° 375/2006; <sup>2</sup>valores encontrados no biossólido da ETE Alegria.

O substrato comercial utilizado na formulação dos tratamentos foi o Mecplant® Florestal 3, indicado para produção mudas de espécies nativas propagadas por sementes. Este substrato é amplamente utilizado na produção de mudas florestais em tubetes, e de acordo com o fabricante, é um material produzido, integralmente, a partir da casca de pinus bioestabilizada. Ambos os substratos, foram submetidos à análise química, realizada pelo Laboratório de Análise de solos Viçosa Ltda (Tabela 3).

Tabela 3: Análise química de biossólido (BIO) e de substrato comercial (SC).

Substrato	N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N	pH	
	------(%)-----								-	-
SC	0,49	0,17	0,16	1,49	0,58	0,31	11,85	24	4,2	
BIO	1,42	0,55	0,40	1,85	0,58	1,31	8,89	7	5,8	

Teores totais determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método do Kjeldahl; Carbono orgânico – Método Walkley – Black.

As mudas de aroeira foram produzidas em tubetes com capacidade volumétrica de 280 cm<sup>3</sup>, dispostos em canteiros suspensos, localizados a pleno sol. A semeadura foi realizada diretamente nos recipientes, distribuindo-se três sementes por recipiente. Foi mantido sobre os canteiros um sombrite 50% até os 20 dias após a semeadura, quando foi realizado o desbaste deixando-se apenas uma plântula por recipiente, utilizando-se como critério a plântula de maior vigor e mais centralizada.

Os tratamentos com biossólido (BIO) foram T1: BIO sem adubação (BIO+0,00); e T2: BIO mais 0,05 grama de monofosfato amônio (MAP) por muda, aplicado na adubação de cobertura (BIO+0,05). Os demais tratamentos foram com substrato comercial (SC) – T3: SC sem adubação (SC+0,00); T4: SC mais 0,05 g de MAP muda<sup>-1</sup> (SC+0,05); T5: SC mais 0,10 g de MAP muda<sup>-1</sup> (SC+0,10); T6: SC mais 0,20 g de MAP muda<sup>-1</sup> (SC+0,20); T7: SC mais 0,40 g de MAP muda<sup>-1</sup> (SC+0,40), aplicados em adubação de cobertura. Os valores supracitados correspondem a quantidade de MAP aplicada por adubação, e foram realizadas cinco adubações de cobertura em intervalo de 21 dias entre uma e outra, sendo a primeira aos 50 e a última aos 134 dias após a semeadura. A adubação de cobertura foi realizada via solução aquosa, aplicada com o auxílio de seringa. Em cada tubete foram aplicados 10 mL de solução contendo doses de MAP correspondentes ao tratamento.

As mudas foram produzidas a pleno sol e a irrigação foi realizada por sistema de microaspersão de uma a três vezes ao dia, dependendo das condições do clima (chuva, insolação e temperatura) e da fase de crescimento das mudas.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com sete tratamentos, quatro repetições, sendo cada unidade experimental formada por 12 mudas, totalizando 336 mudas.

As características avaliadas foram a altura da parte aérea (H) aos 50 dias após a semeadura e a cada 21 dias a partir desta; diâmetro do coleto (D) aos 71 dias após a semeadura e a cada 21 dias após a primeira; matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca radicular (MSR) aos 155 dias após a semeadura. Para avaliação da matéria seca foram selecionadas as cinco mudas mais próximas da média de cada repetição, totalizando 20 mudas amostradas por tratamento.

Com os dados obtidos aos 155 dias após a semeadura, foram calculados os parâmetros de qualidade: relação entre altura e diâmetro (H/D), relação entre a matéria seca da parte aérea e radicular (MSPA/MSR) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

## 2.2. Teor e conteúdo de nutrientes nas mudas

Após a obtenção do peso seco, as amostras da parte aérea e do sistema radicular foram agrupadas por tratamento e as mesmas foram moídas em moinho de facas, e posteriormente enviadas para laboratório quatro amostras para análise química do material vegetativo.

Foram analisadas e comparadas as concentrações dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, além dos micronutrientes Zn, Fe, Mn, Cu e B contidos nos compartimentos parte aérea e sistema radicular dos respectivos tratamentos.

## 2.3. Sobrevivência e crescimento inicial em campo

Para avaliação da sobrevivência e crescimento inicial em campo foram implantadas 16 mudas de cada tratamento, sendo quatro de cada repetição. Foram excluídas da implantação de campo as mudas referentes aos tratamentos T<sub>3</sub> (SC+0,00) e T<sub>4</sub> (SC+0,05) que obtiveram ao final do ciclo de produção, médias inferiores às adotadas como padrão de qualidade para expedição de mudas desta espécie, estipulados por José et al., (2005) (altura  $\geq$  25 cm; diâmetro do coleto  $\geq$  3,00 mm).

O experimento foi implantado em 28 de Fevereiro de 2013, em área de propriedade da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Santa Rosa, no Município de Bom Jardim, localizado na Região Centro Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. A classe de solo do local do experimento é Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS, 2013). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região onde está localizado o Município de Bom Jardim é classificado como tropical chuvoso, com inverno seco e verão chuvoso. A altitude em relação ao nível do mar é de 530 metros e a precipitação média anual é de 1.402 mm, com período seco compreendido entre os meses de junho a agosto e o período chuvoso de novembro a março. A temperatura média anual da região é de 22,0°C e apresenta temperatura média mínima em torno de 16,0°C no mês de julho, enquanto a temperatura média máxima é de 28,0°C e ocorre no mês de fevereiro.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo cinco os tratamentos testados em campo, com 16 repetições por tratamento, cada planta representou uma repetição. O espaçamento de plantio foi de 3,2 x 1,7 m. Realizou-se a marcação das covas, o coroamento e a abertura das covas com dimensões de 25 x 25 x 25 cm. Em seguida realizada adubação com 120 gramas superfosfato simples por cova e o plantio. Os tratos culturais envolveram o controle de formigas cortadeiras 30 dias antes do plantio e até 12 meses após o mesmo e controle das plantas daninhas em três ocasiões, utilizando-se capina em faixa como método de controle..

Foi realizado o acompanhamento quinzenal da precipitação e temperatura máxima, do plantio até a data da última avaliação de crescimento. Os dados referentes a estação meteorológica de Cordeiro - RJ, a mais próxima da área experimental (Figura 1), foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013).

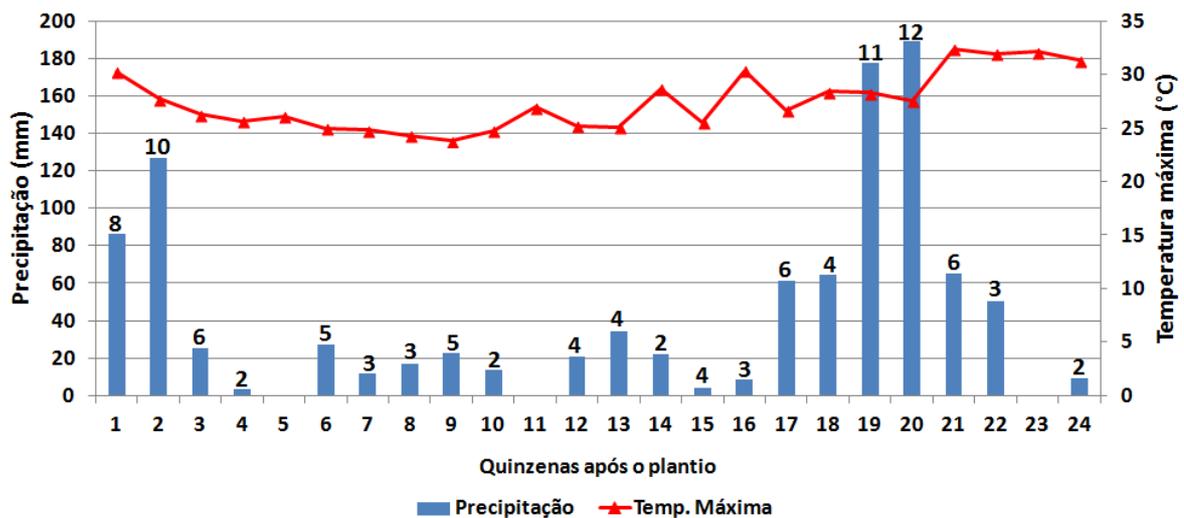


Figura 1: Precipitação e temperatura máxima quinzenal durante os seis meses após o plantio. A numeração sobre as barras indica em quantos dias na quinzena houve precipitação. Fonte: INMET (2013).

O balanço hídrico médio mensal durante o período experimental foi calculado pelo método de Thornthwaite; Mather (1955). Foi utilizada a planilha eletrônica desenvolvida por Sentelhas et al. (1998), considerou-se 350 mm, a capacidade de água disponível (CAD), correspondente ao Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, conforme descrito pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2008). Consta-se através do balanço hídrico (Figura 2) que durante o período abril a outubro ocorreu deficiência hídrica no solo.

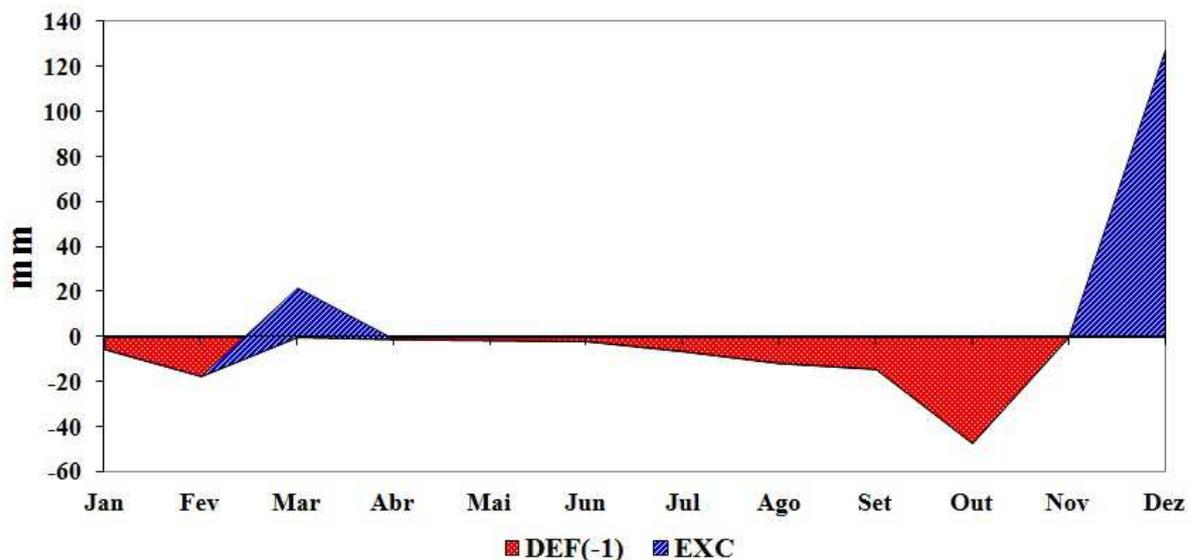


Figura 2: Extrato do balanço hídrico do solo do ano de 2013 para a área experimental, localizada no Município de Bom Jardim – RJ.

As avaliações de crescimento em campo consistiram nas medições da altura da parte aérea e do diâmetro ao nível do solo, no dia do plantio (tempo 0), aos 6 e 12 meses após o plantio. Além destas medidas, obteve-se também a taxa de sobrevivência aos 12 meses após o plantio.

## 2.4 Análise Estatística

Todos os dados, com exceção da sobrevivência foram submetidos ao teste de Liliefors e de Cochran & Bartlet para avaliar a normalidade e homogeneidade das variâncias, respectivamente e não houve necessidade de transformações. Foi realizada a análise de variância, posteriormente o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. As análises foram realizadas com auxílio do programa Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Produção de mudas

Observa-se pela Figura 3 que as mudas produzidas com biofóssido na composição do substrato, tratamentos T1 (BIO+0,00) e T2 (BIO+0,05), apresentaram tendência de maior crescimento em altura e diâmetro durante todo o ciclo de produção no viveiro e aos 155 dias após a semeadura, alcançaram médias significativamente superiores aos tratamentos com substrato comercial. Esse maior crescimento está possivelmente ligado à maior disponibilidade de nutrientes contidos no biofóssido (Tabela 3), o que provavelmente propiciou melhor nutrição e, conseqüentemente, crescimento mais acelerado.

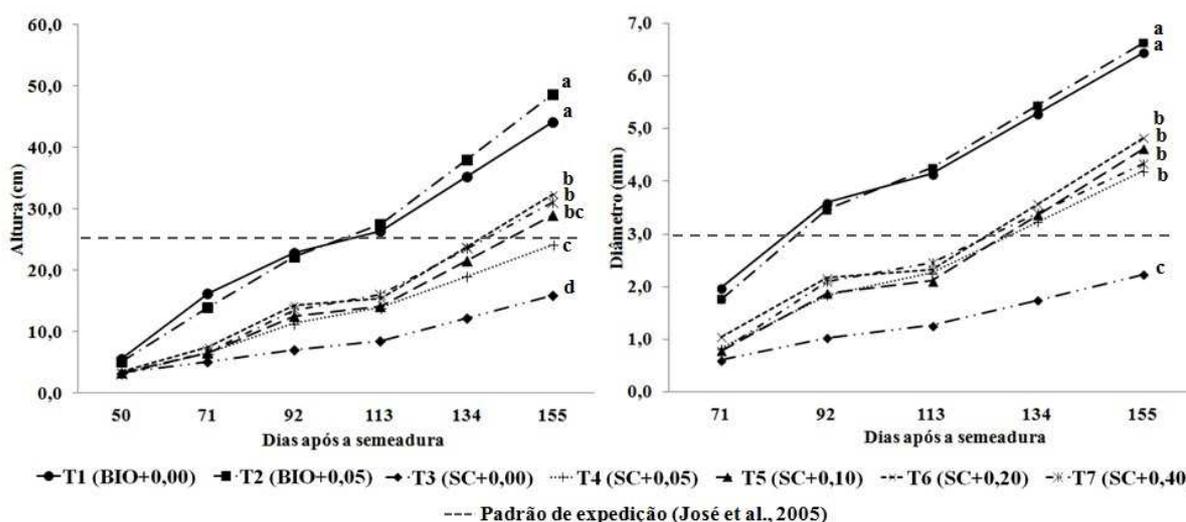


Figura 3: Crescimento ao longo do tempo em altura e diâmetro do coleto, de mudas de *Schinus terebinthifolius*, produzidas em biofóssido (BIO) e substrato comercial (SC) sob diferentes dosagens de MAP. Na última avaliação, para cada característica, valores seguidos da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Resultado semelhante ao deste trabalho foi encontrado por Varela; Martinez (2013), que testando o uso de biofóssido em comparação a um substrato tradicional (turfa + pumicita) sob diferentes adubações de cobertura, também encontraram as maiores médias de altura e diâmetro de *Nothofagus alpina* nos tratamentos com biofóssido.

Levando-se em consideração o padrão de qualidade para expedição estipulado por José et al. (2005), em que mudas de aroeira pimenteira com adequada qualidade para expedição para campo devem ter o mínimo de 25 cm de altura e 3 mm de diâmetro do coleto, constata-se que as mudas produzidas com biofóssido atingiram esse padrão mínimo aproximadamente aos 100 dias após a semeadura. Já nos melhores tratamentos com substrato comercial, esse padrão foi alcançado aproximadamente aos 140 dias.

Diante destas informações, pode-se inferir que o uso de biofóssido na composição do substrato, atrelado a um manejo de rustificação adequado no viveiro, pode trazer vantagens

não somente relacionada ao crescimento das mudas de aroeira pimenteira, como também uma importante ferramenta na redução do ciclo de produção e desta forma aumentar a produtividade dos viveiros com mudas de qualidade. A eficiência do biofóssido como ferramenta para o encurtamento do ciclo de produção também foi observada por Basil et al. (2009) e Namiot et al. (2012) para *Austrocedrus chilensis* e por Varela; Martinez (2013) para *Nothofagus alpina*.

A ausência de diferenças significativas em altura e diâmetro do coleto entre as mudas dos tratamentos T1 e T2, que continham biofóssido como substrato, está possivelmente relacionada com a disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica contida neste material, que supriram de forma eficiente a demanda das mudas de aroeira pimenteira durante todo o ciclo, mesmo no tratamento sem adubação.

Segundo Melo; Marques (2000), os nutrientes presentes na composição do biofóssido, encontram-se em grande parte na forma orgânica, e desta forma tendem a serem liberados gradativamente no substrato por meio da mineralização, aumentando assim a absorção pelas plantas e diminuindo os riscos de lixiviação dos nutrientes. Neste contexto, a forma de liberação dos nutrientes pelo biofóssido pode ter contribuído para a maior eficiência de utilização dos nutrientes pelas mudas, refletindo em maior crescimento, quando comparadas com o substrato comercial sob adubação química.

Avaliando-se os parâmetros de crescimento das mudas (Tabela 4), observa-se que as mudas produzidas em todos os tratamentos avaliados obtiveram valores de relação H/D abaixo de 10, faixa considerada boa, recomendada por Birchler et al. (1998). Mudas com alta relação H/D podem apresentar estiolamento e menor índice de sobrevivência no campo, o tombamento decorrente dessa característica pode resultar em morte ou deformações das plantas no campo.

Tabela 4: Parâmetros de crescimento e índices de qualidade das mudas produzidas em biofóssidos (BIO) e substrato comercial (SC) sob diferentes doses de MAP, aos 155 dias após a semeadura.

Trat.	Composição	H/D	MSPA	MSR	MSPA/MSR	IQD
		-	----- g/planta -----	-	-	-
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	6,84 a	6,87 b	3,68 b	1,87 ab	1,21 a
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	7,34 a	9,57 a	4,54 a	2,13 ab	1,49 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	7,23 a	0,51 d	0,38 d	1,38 c	0,11 c
T <sub>4</sub>	SC+0,05	5,75 a	2,31 c	1,44 c	1,62 bc	0,52 b
T <sub>5</sub>	SC+0,10	6,30 a	2,88 c	1,50 c	1,93 ab	0,54 b
T <sub>6</sub>	SC+0,20	6,71 a	3,62 c	1,55 c	2,32 a	0,57 b
T <sub>7</sub>	SC+0,40	7,26 a	2,75 c	1,18 c	2,29 a	0,41 b

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Apesar das mudas dos tratamentos T1 e T2 não apresentarem diferenças significativas relacionadas à altura e ao diâmetro do coleto (Figura 2), constata-se pela Tabela 4 que as mesmas diferiram estatisticamente em relação à matéria seca da parte aérea (MSPA). Este fato pode estar relacionado à maior oferta de nitrogênio (N) e fósforo (P) advindos da adubação de cobertura com MAP no tratamento T2, levando a maior produção de folhas, com isso mais produção de fotoassimilados e, também de raízes devido a forte relação fonte – dreno existentes nas plantas. Segundo Marschner (1997), o N é requerido em grande quantidade para produção de novos tecidos e junto ao P são considerados os nutrientes que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas, levando assim a maior produção

de matéria seca das plantas. A maior oferta de N pode ter favorecido o crescimento da parte aérea, principalmente das folhas.

A matéria seca radicular (MSR) também apresentou diferença significativa entre os dois tratamentos com biofóssido, o que pode estar relacionado a maior oferta de P. Provavelmente o maior suprimento de P oriundo da adubação de cobertura no tratamento T2 favoreceu o crescimento do sistema radicular, o que conforme Malavolta (1989) é função atribuída a este macronutriente. Observa-se que mesmo as mudas de aroeira pimenteira produzidas com a maior dose de MAP em substrato comercial (T7), apresentaram crescimento significativamente inferior às mudas produzidas com biofóssido sem adubação.

As mudas produzidas apresentaram valores de relação MSPA/MSR entre 1,38 e 2,32 (Tabela 4). Caldeira et al. (2008) defendem a teoria de que mudas florestais de qualidade devem apresentar valores de MSPA/MSR próximos de 2, proporcionando adequada distribuição entre a parte aérea e a radicular. Em geral, a relação MSPA/MSR é menor em ambientes de menor fertilidade, podendo ser considerada estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição (CALDEIRA et al., 2013). Este fato foi observado no estudo, em que os menores valores desta relação foram encontrados nas mudas dos tratamentos T3 (SC+0,00) e T4 (SC+0,05).

Outro parâmetro utilizado para avaliação de qualidade de mudas florestais é o Índice de Qualidade de Dickson. Segundo Carneiro (1995), quanto maior for esse valor dentro de um lote de mudas, melhor o padrão de qualidade. Desta forma, observa-se, pela Tabela 4, que as mudas produzidas nos tratamentos T1 e T2, apresentaram os maiores valores correspondentes a este índice e o menor valor foi encontrado para mudas do tratamento T3 (SC+0,00).

Os resultados obtidos apontam que uso de biofóssido proveniente de lodo de esgoto contribuiu positivamente para o crescimento de mudas de aroeira pimenteira, sendo possível produzir mudas de excelente qualidade morfológica sem a necessidade de adubação de cobertura com MAP, conforme pode ser observado na ilustração da Figura 4.



Figura 4: Mudanças médias de *Schinus terebinthifolius* produzidas em biofóssido (BIO) e substrato comercial (SC), sob diferentes dosagens de MAP, aos 155 dias após a semeadura. Da esquerda para direita corresponde aos denominados T1 a T7.

É importante salientar ainda, a visível diferença de crescimento entre as mudas produzidas com biofóssido em relação às com substrato comercial (Figura 4). Além do maior crescimento relacionado aos parâmetros altura e diâmetro, as mudas produzidas com biofóssido, apresentaram volume radicular visivelmente superior às produzidas em substrato comercial. Apesar das mudas com biofóssido responderem à fertilização complementar para

algumas características, os nutrientes já existentes nele parecem ser suficientes para a formação de plantas com boa qualidade morfológica, haja vista que na maior parte das características avaliadas não houve diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T2.

Segundo Alonso (2013), um dos fatores da resistência que alguns viveiros florestais ainda apresentam quanto à adoção do sistema de produção de mudas em tubetes, está ligado, entre outros fatores, à maior necessidade de adubações de cobertura, que em geral são imprescindíveis neste sistema e que necessita de maior conhecimento técnico. Através dos resultados obtidos, a utilização de biofóssido como substrato pode surgir como uma alternativa para simplificação da produção de mudas em tubetes, eliminando ou reduzindo uma das atividades mais cruciais e emblemáticas deste sistema, que é a necessidade de reposição de nutrientes no substrato.

### 3.2. Teor e conteúdo de nutrientes nas mudas

Observa-se pela Tabela 5 que os maiores teores de N e P foram encontrados no tratamento T<sub>7</sub> (SC+0,40), ou seja, no tratamento com substrato comercial que recebeu a maior dose de MAP. Como o MAP é constituído de 11% de N e 48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fica evidente que o maior teor N e P no tratamento T<sub>7</sub> advém das adubações de cobertura em níveis mais elevados. Segundo Carneiro (1995) maiores teores de macronutrientes, normalmente indicam que as mudas encontram-se bem nutridas, e conseqüentemente possuem maiores possibilidades de sobrevivência e estabelecimento após o plantio, do que mudas com menores teores de macronutrientes.

Tabela 5: Teor de macronutrientes (g kg<sup>-1</sup> MS) de mudas de *Schinus terebinthifolius*, produzidas em biofóssido (BIO) e substrato comercial (SC) sob diferentes dosagens de monoamônio fosfato, aos 155 dias após a semeadura.

Trat.	Composição	N	P	K	Ca	Mg	S
Parte aérea							
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	10,33 c	1,98 f	7,70 b	9,80 a	0,80 d	1,23 b
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	9,35 de	2,43 e	8,00 b	10,53 a	0,90 d	1,58 ab
T <sub>3</sub>	SC+0,00	9,70 cd	4,15 b	14,90 a	8,80 b	1,60 c	2,25 a
T <sub>4</sub>	SC+0,05	7,33 f	2,78 de	8,70 b	7,30 c	1,78 bc	0,70 bc
T <sub>5</sub>	SC+0,10	8,68 e	2,83 d	6,70 b	7,48 c	1,75 bc	0,30 c
T <sub>6</sub>	SC+0,20	14,28 b	3,38 c	5,40 b	7,63 c	1,85 b	0,98 bc
T <sub>7</sub>	SC+0,40	23,40 a	4,83 a	5,70 b	8,88 b	2,15 a	0,28 c
Sistema radicial							
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	9,13 bc	2,90 d	7,70 b	5,50 a	1,35 c	3,13 a
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	9,85 b	3,43 c	6,30 c	5,83 a	1,33 c	3,10 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	7,40 d	4,03 ab	13,30 a	4,40 b	2,10 a	1,98 b
T <sub>4</sub>	SC+0,05	5,13 e	2,88 d	7,50 b	3,70 c	1,45 bc	0,58 c
T <sub>5</sub>	SC+0,10	5,53 e	3,20 c	6,60 c	3,28 c	1,60 b	0,43 c
T <sub>6</sub>	SC+0,20	8,53 c	3,88 b	5,20 d	3,75 c	1,63 b	0,48 c
T <sub>7</sub>	SC+0,40	12,60 a	4,25 a	4,60 d	3,43 c	1,65 b	0,35 c

Para cada compartimento, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Verifica-se também, que o teor N presente na parte aérea das plantas do tratamento T<sub>7</sub> é quase duas vezes superior ao teor de N encontrado no sistema radicial. Segundo Marschner (1997), o N é requerido em grande quantidade para produção de novos tecidos, principalmente folhas, o que explica o maior teor deste nutriente na parte aérea das mudas. Com exceção do tratamento T<sub>2</sub>, todos os demais tratamentos apresentaram teores de N na parte aérea superior ao encontrado no sistema radicial.

De forma geral, com exceção do T<sub>7</sub>, os tratamentos apresentaram maior teor de P no sistema radicial em detrimento a parte aérea. Segundo Malavolta (1989) o P é o elemento mais requerido para o crescimento radicular.

Os teores mais elevados de K foram encontrados no tratamento T<sub>3</sub>, tanto para parte aérea como para o sistema radicial. O maior teor de K neste tratamento possivelmente deve-se ao efeito de concentração, devido ao menor crescimento das mudas deste tratamento. Para a parte aérea não houve diferenças significativas relacionadas ao teor de K entre os demais tratamentos.

Segundo Larcher (2000) para um desenvolvimento das plantas, independentemente da espécie, a concentração de K deve estar dentro do intervalo de 5 a 20 g kg<sup>-1</sup> MS, sendo assim, pode-se inferir que mesmo não havendo complementação de K na adubação, as mudas apresentaram níveis aceitáveis de teor deste nutriente. No entanto, vale ressaltar que os teores encontrados ficaram próximos ao limite inferior do intervalo proposto pelo autor, e embora as mudas não tenham apresentado sintomas visuais de deficiência de K deve-se ter maior atenção com este macronutriente.

Segundo Berton; Nogueira (2010), o K geralmente apresenta-se em concentrações diminutas no biossólido, pois devido à alta solubilidade deste nutriente, o mesmo é diluído durante o processo de tratamento. Sendo assim, deve-se ter atenção redobrada em relação à este nutriente quando utilizado o biossólido como substrato para produção de mudas florestais.

Grassi Filho (2007) apresentou um intervalo entre 3 e 15 g kg<sup>-1</sup> MS para o teor de Ca nas plantas, de um modo geral. Em Epstein; Bloom (2004) o valor de referência é igual a 5 g kg<sup>-1</sup> MS de plantas. Desta forma, pode-se classificar os teores de Ca encontrados na parte aérea das mudas de *Schinus terebinthifolius* como médios, já os do sistema radicial como baixos. Observa-se que os maiores teores tanto para parte aérea quanto para o sistema radicial foram encontrados nos tratamentos que continham biossólido como substrato, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>. Essa maior concentração de Ca nas plantas destes tratamentos podem ser reflexos da maior disponibilidade deste nutriente no biossólido em relação ao substrato comercial (Tabela 3).

Para o Mg, Larcher (2000) recomenda valores de referência entre 1,0 e 3,0 g kg<sup>-1</sup> MS. Para o compartimento parte aérea, as mudas dos tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> apresentaram teores de Mg abaixo do recomendado, já para o sistema radicial, todos os tratamentos enquadraram-se no intervalo proposto pelo autor. O maior teor de Mg na parte aérea foi encontrado no tratamento T<sub>7</sub>, ou seja, no tratamento que recebeu adubação de cobertura em nível mais elevado e consequentemente maiores doses de P. Este resultado contraria o obtido por Carlos et al.(2013), onde os autores afirmam a existência de interações P - Mg, em que o aumento de doses de P diminuíram o teor de Mg no tecido de plantas de *Stryphndendron adstringens*. Para o sistema radicial, o maior teor foi encontrado no tratamento T<sub>3</sub>, o que possivelmente está relacionado ao efeito de concentração em função do menor crescimento apresentado neste tratamento.

Segundo Vitti et al. (2006), a necessidade de S para o adequado crescimento das plantas varia de 1 a 5 g kg<sup>-1</sup> MS. Epstein; Bloom (2004) apresentam como teor de referência de S em plantas 1,0 g kg<sup>-1</sup> MS. Desta forma, pode inferir que os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> suprimam de forma eficiente e adequada a demanda de S pelas plantas de *Schinus terebinthifolius*. Isto

ocorreu devido as altas concentrações deste macronutriente na composição química do bio sólido (Tabela 3).

Brun et al. (2008) alertam que o baixo teor de S em plantas pode estar relacionado com a qualidade e quantidade da matéria orgânica disponível, que é sua principal fonte. Conforme observado na Tabela 3, apesar do substrato comercial apresentar maior teor de carbono orgânico (CO), o que é um indicativo de maior quantidade de matéria orgânica, o mesmo apresenta alta relação C/N. Segundo Gonçalves; Poggiani (1996) substratos com altas relações C/N ( $> 18/1$ ), normalmente apresentam alta atividade de microrganismos, que passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S. Os autores alertam ainda que como consequência, as mudas poderão sofrer com a deficiência destes nutrientes, a não ser que a adubação, principalmente a de cobertura, seja realizada. Como o fertilizante utilizado em cobertura continha N, mas não apresentava S em sua composição, acredita-se que esta deficiência de S nas mudas produzidas em substrato comercial esteja relacionada às implicações da maior relação C/N deste substrato. Embora na parte aérea os maiores teores de S terem sido encontrados também no tratamento T<sub>3</sub>, acredita-se que este resultado esteja vinculado ao efeito de concentração já citado anteriormente.

Pode-se inferir ainda pela Tabela 5, que de forma geral os tratamentos T<sub>6</sub> e T<sub>7</sub> apresentaram teores de N, P, K, Ca e Mg, próximo dos observados para os tratamentos com bio sólido. No entanto, o S é o elemento que aparece em menor teor nos tratamentos T<sub>6</sub> e T<sub>7</sub>, e provavelmente sua deficiência foi a responsável pelo menor crescimento destes tratamentos frente aos tratamentos com bio sólido (T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>).

Quando avaliado o conteúdo de nutrientes nos compartimentos das mudas, observa-se pela Tabela 6, que de forma geral, os maiores conteúdos foram encontrados no tratamento T<sub>2</sub>, o que é explicado pela maior matéria seca produzida neste tratamento (Tabela 4). Dentre os compartimentos avaliados nota-se que a parte aérea obteve maior acúmulo de macronutrientes do que o sistema radicial.

Outro fato interessante é o menor conteúdo de nutrientes no tratamento T<sub>3</sub>, confirmando que os altos teores de alguns macronutrientes, principalmente K e S (Tabela 5), são resultados do efeito de concentração apresentado em função do menor crescimento apresentado neste tratamento.

Para os tratamentos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> e T<sub>7</sub>, o N foi o nutriente que mais acumulou na parte aérea. Vale ressaltar que estes foram os cinco tratamentos que se enquadraram no padrão de qualidade de mudas estipulado por José et al. (2005). Este resultado indica que o maior acúmulo de N favoreceu o crescimento em altura e diâmetro das mudas, o que segundo Marschner (1997) é função atribuída a este macronutriente. Já os tratamentos T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub> apresentaram o K como macronutriente de maior acúmulo.

Os tratamentos T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub> apresentaram também as menores médias de P tanto na parte aérea quanto no sistema radicial. Este comportamento justifica a menor relação MSPA/MSR apresentado por estes tratamentos (Tabela 4). Segundo Reis et al. (1985) e Caldeira et al. (2013), em geral, a relação MSPA/MSR é menor em ambientes de menor fertilidade, podendo ser considerada estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes, principalmente P, naquela condição.

O conteúdo de Ca na parte aérea e no sistema radicial do tratamento T<sub>2</sub> é mais de quatro vezes superior ao T<sub>6</sub>, melhor tratamento com substrato comercial. Apesar de não haver grandes diferenças entre as concentrações de Ca e Mg presentes no substrato comercial e no bio sólido, a diferença dos tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> para os demais é significativa, indicando que a composição do bio sólido favorece a absorção destes nutrientes pela planta.

Tabela 6: Conteúdo de macronutrientes (mg planta<sup>-1</sup>) em mudas de *Schinus terebinthifolius*, produzidas em biossólido (BIO) e substrato comercial (SC) sob diferentes dosagens de monoamônio fosfato, aos 155 dias após a semeadura.

Trat.	Composição	N	P	K	Ca	Mg	S
Parte aérea							
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	70,86 ab	13,62 b	52,92 ab	64,66 b	5,50 bc	8,42 b
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	89,50 a	23,25 a	76,61 a	100,81 a	8,62 a	15,24 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	5,02 c	2,16 d	7,74 d	4,60 d	0,84 d	1,20 c
T <sub>4</sub>	SC+0,05	16,96 c	6,46 cd	20,19 bc	16,88 cd	4,10 c	1,64 c
T <sub>5</sub>	SC+0,10	24,80 c	8,16 bc	19,36 bc	21,45 cd	5,02 bc	0,83 c
T <sub>6</sub>	SC+0,20	51,65 b	12,20 bc	19,51 bc	24,55 c	6,72 ab	3,71 bc
T <sub>7</sub>	SC+0,40	64,45 b	13,28 b	15,66 c	24,53 c	5,92 bc	0,80 c
Sistema radicial							
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	33,60 b	10,68 b	28,35 a	20,26 b	4,98 a	11,52 a
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	44,78 a	15,53 a	28,71 a	26,55 a	6,01 a	14,01 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	2,87 d	1,56 d	5,11 b	1,72 d	0,82 c	0,79 b
T <sub>4</sub>	SC+0,05	7,48 cd	4,15 cd	10,89 b	5,42 c	2,12 bc	0,83 b
T <sub>5</sub>	SC+0,10	8,39 cd	4,83 c	9,92 b	4,94 c	2,40 b	0,65 b
T <sub>6</sub>	SC+0,20	13,25 c	6,05 c	8,11 b	5,84 c	2,53 b	0,74 b
T <sub>7</sub>	SC+0,40	15,00 c	5,05 c	5,44 b	4,03 c	1,95 bc	0,41 b

Para cada compartimento, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O macronutriente que apresenta maior discrepância quando comparados os tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> com os demais é o S. Este fato é justificável quando observado a abundância deste nutriente no biossólido em detrimento ao substrato comercial, além da relação C/N já citada anteriormente. Com exceção do T<sub>1</sub>, todos os demais tratamentos apresentaram maior concentração de S na parte aérea em comparação ao sistema radicial. Isto ocorre devido ao fato da assimilação do S pela planta ocorrer mais ativamente nas folhas, onde é mais requerido para processos metabólicos, do que nas raízes (Taiz; Zeiger, 2009).

Quando avaliado o teor de micronutrientes presentes nas mudas de *Schinus terebinthifolius* (Tabela 7), observa-se que com exceção do B, os demais micronutrientes se concentram em teores mais elevados no sistema radicial do que na parte aérea.

Segundo Dechen; Nachtigall (2006), o Zn encontra-se concentrado em grande parte na raiz e geralmente as plantas apresentam teores que variam entre 3 e 150 mg kg<sup>-1</sup> MS. Desta forma, observa-se que com exceção de T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, todos os demais tratamentos apresentaram teores de Zn dentro da faixa considerada normal. Já T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, apresentaram teores consideravelmente superiores. No entanto, não foram observados durante a condução do experimento sintomas de toxicidade por Zn, em que folhas apresentam pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras, e principalmente, não foi verificado a existência de deficiência de Fe, que é um dos sintomas.

Tabela 7: Teor de micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup> MS) em mudas de *Schinus terebinthifolius*, produzidas em biossólido (BIO) e substrato comercial (SC) sob diferentes dosagens de monoamônio fosfato, aos 155 dias após a semeadura.

Trat	Composição	Zn	Fe	Mn	Cu	B
Parte aérea						
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	227,0 b	197,2 b	76,5 c	5,0 b	14,2 bc
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	369,0 a	339,5 ab	87,0 b	4,7 b	13,9 bc
T <sub>3</sub>	SC+0,00	61,0 c	538,7 a	44,0 e	7,7 a	19,1 a
T <sub>4</sub>	SC+0,05	36,7 cd	274,5 ab	43,2 e	4,7 b	14,2 bc
T <sub>5</sub>	SC+0,10	21,0 d	160,7 b	45,5 e	3,2 b	13,3 c
T <sub>6</sub>	SC+0,20	19,2 d	253,5 ab	62,0 d	5,2 ab	16,9 ab
T <sub>7</sub>	SC+0,40	28,0 d	278,7 ab	107,7 a	4,2 b	19,1 a
Sistema radicial						
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	1058,2 a	8859,7 a	85,5 a	135,5 ab	12,1 cd
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	1068,5 a	9488,7 a	91,5 a	143,2 a	9,9 d
T <sub>3</sub>	SC+0,00	144,2 b	2886,2 b	68,5 b	128,0 b	20,0 a
T <sub>4</sub>	SC+0,05	68,2 c	1761,0 bc	32,0 e	25,0 c	19,1 ab
T <sub>5</sub>	SC+0,10	48,0 c	1538,5 c	34,2 de	15,2 cd	15,5 bc
T <sub>6</sub>	SC+0,20	72,7 c	2047,7 bc	48,7 cd	12,5 cd	12,4 cd
T <sub>7</sub>	SC+0,40	58,5 c	2341,5 bc	62,5 bc	9,0 d	11,9 cd

Para cada compartimento, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Levando-se em consideração que a concentração de Fe normal em plantas é de 10 a 1500 mg kg<sup>-1</sup> MS (DECHEN; NACHTIGALL, 2006), nota-se que a concentração deste micronutriente nas mudas de *Schinus terebinthifolius* foi superior, na zona radicial, à este intervalo em todos os tratamentos. Evidenciando que não existiu sintomas de toxidez por Zn.

Andrade; Boaretto (2012) encontraram teores de Cu na parte aérea de mudas de *Schinus terebinthifolius* próximos de 4 mg kg<sup>-1</sup>. Para Dechen; Nachtigall (2006), a concentração de Cu nas plantas varia normalmente entre 2 e 75 mg kg<sup>-1</sup> MS. Apesar do teor de Cu na parte aérea ser considerado normal, observa-se pela Tabela 7 que o teor presente no sistema radicial dos tratamentos T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> é consideravelmente superior ao citado pelos autores. Dechen; Nachtigall (2006) afirmam que em casos de toxidez por Cu em plantas, os sintomas se manifestam principalmente nas raízes, local com maior concentração deste micronutriente.

Em detrimento ao comportamento apresentado pelos demais micronutrientes, observa-se pela Tabela 7, que o B concentrou-se mais na parte aérea do que na raiz, o que segundo Dechen; Nachtigall (2006) é considerado normal. Este fato pode estar relacionado a função exercida pelo B na planta, principalmente a formação da parede celular, divisão celular, além do transporte de carboidratos das folhas para outros órgãos (MALAVOLTA, 1980).

Na Tabela 8 são apresentados os dados referentes ao conteúdo de micronutrientes contidos nos compartimentos das mudas de *Schinus terebinthifolius*. Observa-se que o tratamento T<sub>2</sub> apresentou os maiores conteúdos para todos os micronutrientes, reflexo da alta produção de matéria seca, aliada aos adequados teores apresentados por este tratamento.

Tabela 8: Conteúdo de micronutrientes (mg planta<sup>-1</sup>) em mudas de *Schinus terebinthifolius*, produzidas em biossólido e substrato comercial sob diferentes dosagens de monoamônio fosfato aos 155 dias após a semeadura.

Trat	Composição	Zn	Fe	Mn	Cu	B
Parte aérea						
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	1,562 b	1,354 bc	0,526 b	0,034 a	0,0981 b
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	3,528 a	3,246 a	0,835 a	0,045 a	0,1341 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	0,033 c	0,294 c	0,023 e	0,004 c	0,0098 d
T <sub>4</sub>	SC+0,05	0,084 c	0,633 c	0,099 de	0,011 bc	0,0330 cd
T <sub>5</sub>	SC+0,10	0,059 c	0,454 c	0,130 de	0,009 bc	0,0383 cd
T <sub>6</sub>	SC+0,20	0,069 c	0,920 bc	0,224 cd	0,018 b	0,0612 c
T <sub>7</sub>	SC+0,40	0,077 c	0,752 c	0,297 c	0,011 bc	0,0528 c
Sistema radicial						
T <sub>1</sub>	BIO+0,00	3,898 b	32,647 b	0,314 b	0,499 b	0,0447 a
T <sub>2</sub>	BIO+0,05	4,851 a	42,979 a	0,415 a	0,646 a	0,0448 a
T <sub>3</sub>	SC+0,00	0,055 c	1,120 c	0,027 c	0,049 c	0,0077 c
T <sub>4</sub>	SC+0,05	0,099 c	2,580 c	0,046 c	0,036 c	0,0278 b
T <sub>5</sub>	SC+0,10	0,071 c	2,346 c	0,051 c	0,022 c	0,0236 b
T <sub>6</sub>	SC+0,20	0,113 c	3,190 c	0,075 c	0,019 c	0,0193 bc
T <sub>7</sub>	SC+0,40	0,069 c	2,746 c	0,073 c	0,010 c	0,0140 bc

Para cada compartimento, colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Assim como o observado para os teores, os conteúdos de micronutrientes também foram mais elevados no sistema radicial do que na parte aérea, com exceção do B, que apresentou maior conteúdo na parte aérea.

Apesar do maior teor de Fe, Cu e B apresentado na parte aérea das mudas do tratamento T<sub>3</sub> (Tabela 7), constata-se pela Tabela 8 que o conteúdo destes nutrientes foram os menores dentre os tratamentos. Isto evidencia o efeito de concentração resultante da diminuta massa seca produzida neste tratamento.

A análise dos nutrientes nos tecidos vegetais foi realizada para prover informações sobre o estado nutricional das plantas, como forma de direcionar o manejo nutricional para produções ótimas. Sendo assim, recomenda-se atenção com a concentração de K e Mg quando adotado o biossólido como substrato, visto que a demanda pelos demais nutrientes foram supridas de forma satisfatória.

### 3.3. Sobrevivência e crescimento inicial em campo

Apenas as mudas produzidas nos tratamentos T<sub>3</sub> (SC+0,00) e T<sub>4</sub> (SC+0,05) apresentaram padrões de qualidade em altura e/ou diâmetro, aos 155 dias após a semeadura, abaixo dos recomendados por José et al. (2005). Os autores recomendam que mudas de aroeira pimenteira com a capacidade de se estabelecerem e crescerem em campo devem ter no mínimo de 25 cm de altura e 3 mm de diâmetro. Portanto, as mudas destes tratamentos não foram implantados para avaliação em campo.

Todos os tratamentos testados em campo apresentaram sobrevivência de 100% aos doze meses após o plantio, ratificando o padrão de qualidade das mudas produzidas. Segundo

Pezzuti; Caldato (2011), o sucesso da implantação começa com a qualidade morfológica das mudas, que está diretamente associada com a sobrevivência e crescimento inicial em campo.

Além da qualidade das mudas, é indispensável que as condições de implantação e estabelecimento em campo sejam favoráveis. As condições climáticas no primeiro mês após a implantação foi bastante positiva e pode ter contribuído para o estabelecimento inicial em campo (Figura 1). Após esta etapa inicial houve um longo período de estiagem, no entanto, a qualidade das mudas, aliado a rusticidade da espécie e aos tratos culturais e manutenções bem conduzidas, favoreceram a sobrevivência integral das mudas de aroeira pimenteira em todos os tratamentos, mesmo enfrentando um período com baixa incidência de precipitações, a partir de 2 meses após o plantio.

Devido a sua rusticidade, a aroeira pimenteira é amplamente recomendada para projetos de reflorestamento, na restauração de matas ciliares, recuperação de solos pouco férteis (rochosos, salino hidromórficos), além da recuperação de áreas degradadas (CARVALHO, 2003; JOSÉ et al., 2005). A capacidade de adaptação à diferentes ambientes é um dos fatores que podem ter contribuído para a sobrevivência de 100% em todos os tratamentos.

Segundo a definição de Johnson; Cline (1991), mudas de alta qualidade são aquelas produzidas a baixo custo, que podem se adequar aos atuais sistemas de plantio, além de sobreviver e crescerem bem após o plantio. Portanto, para definir se as mudas implantadas em campo possuem de fato qualidade desejável, não basta avaliar apenas a sobrevivência, mas também o crescimento após o plantio.

Observa-se pela Figura 5 que as mudas produzidas nos tratamentos T<sub>6</sub> (SC+0,20) e T<sub>7</sub> (SC+0,40), que apresentavam no momento da implantação menores médias de altura, igualaram suas médias aos tratamentos T<sub>1</sub> (BIO+0,00) e T<sub>2</sub> (BIO+0,05) logo aos seis meses após a implantação e esta tendência se manteve aos doze meses.

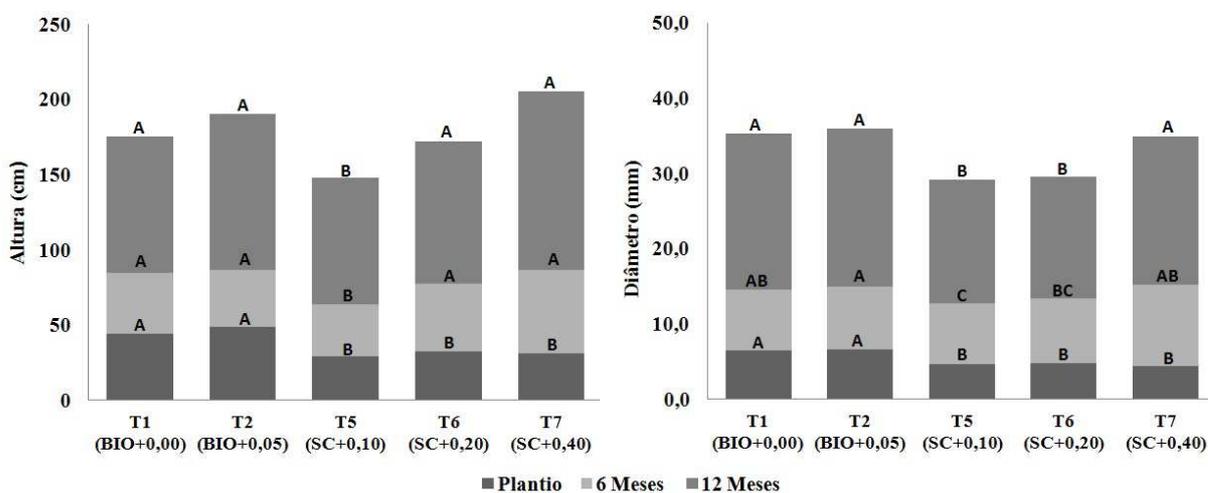


Figura 5: Altura de plantas de *Schinus terebinthifolius* no plantio, e aos 6 e 12 meses de idade, produzidas em biossólido (BIO) e substrato comercial (SC), sob diferentes dosagens de monoamônio fosfato. Para cada idade, colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo Salifu; Timmer (2001), depois do plantio em campo o crescimento das raízes é lento e a absorção de nutrientes do solo é limitada, desta forma, o crescimento inicial depende da translocação de reservas internas de nutrientes. Este fato pode explicar o maior incremento e crescimento em altura do tratamento T<sub>7</sub> (Figura 5), que pode ter sido favorecido pelo maior acúmulo de N e P dos tecidos (Tabela 6), advindo da maior dose de MAP na adubação de cobertura.

Segundo Barbosa et al. (2003), a adoção de técnicas como a fertilização mineral pode trazer expressivos aumentos no crescimento e qualidade das mudas, com reflexos diretos na sobrevivência e crescimento em campo. Este mesmo comportamento também foi observado para a variável diâmetro. No entanto, para esta variável, apenas o tratamento T<sub>7</sub> (SC+0,40) igualou-se às medias das mudas produzidas com biossólido.

Em plantios de recomposição florestal, onde diferentemente dos plantios comerciais de eucalipto, as mudas nativas apresentam baixo ritmo de crescimento, tornando indispensável que sejam adotadas medidas que favoreçam o estabelecimento e crescimento mais rápido das mudas em campo, principalmente para diminuir a competição com as plantas espontâneas. Neste contexto, tanto a adoção do biossólido como substrato, que resulta em mudas de maiores dimensões, como o uso de adubações de cobertura, com doses mais elevadas no processo de produção, que aumenta o teor de nutrientes na planta e reflete no arranque inicial em campo, podem ser utilizados como ferramentas para favorecer o estabelecimento e crescimento em campo de plantas como a aroeira pimenteira.

Considerando que atualmente existe uma grande tendência de verticalização das empresas que executam projetos de recomposição florestal, onde estas produzem as mudas florestais que utilizam em seus projetos, este trabalho traz resultados que podem contribuir para a tomada de decisão destes empreendedores. Mesmo em locais onde seja difícil o acesso ao biossólido, a fertilização no viveiro pode ser utilizada como uma importante ferramenta para formação de mudas de qualidade, uma vez que, uma dose maior de nutrientes na fase de viveiro, onde as condições ambientais são mais controladas, favorece o arranque inicial em campo e embora precise ser testado, pode vir a aumentar a efetividade das adubações em campo.

#### 4. CONCLUSÃO

A utilização do biossólido como substrato favoreceu o crescimento das mudas de *Schinus terebinthifolius* na fase de viveiro, resultando em mudas de qualidade morfológica superior às produzidas em substrato comercial sob adubação de cobertura.

Tanto a utilização de biossólido como substrato, quanto o uso de adubação de cobertura em níveis mais elevados em substrato comercial, podem ser utilizados como ferramenta para aumentar o estabelecimento e o crescimento das mudas de *Schinus terebinthifolius* (aroeira pimenteira) em campo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Qualidade de mudas para recomposição florestal produzidas em diferentes recipientes**. 2011. 21f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

ALONSO, J. M. **Análise dos viveiros e da legislação brasileira sobre sementes e mudas florestais nativas no estado do Rio de Janeiro**. 2013. 65p. Dissertação (Mestrado em ciências Ambientais e Florestais) -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

ANDRADE, M. L. F.; BOARETTO, A. E. Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 383 - 392, 2012.

BARBOSA, Z.; SOARES, I.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 519 – 522, 2003.

BASIL, G. et al. Efecto del compost de biossólidos em la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (Ciprés de la cordillera). **Ciencia del Suelo**, Argentina, v. 27, n. 1, p. 49 – 55, 2009

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. cap. 2, p. 31-50.

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 7, n. 1, p. 109-121, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – 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, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

BRUN, F. G. K. et al. Aspectos nutricionais de exemplares de guabiju (*Myrcianthes pungens* (Berg) Legrand) implantados na arborização viária de Santa Maria - RS. **Projeto de pesquisa**, Santa Maria, v. 2, n.1, p. 7 - 15.2008.

BURNETT, A. N. New methods for measuring root growth capacity: their value in assessing lodgepole pine stock quality. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 9, n.3, p. 63-67, 1979.

CALDEIRA, M. V. W. et al. 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. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M. V. W. et al. 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. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

CARLOS, L. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de Barbatimão sob efeito da omissão de nutrientes. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 559 – 568, 2013.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry chronicle**, Salt Lake City, v.36, 10-13p, 1960.

DURIGAN, G. et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. 2º Edição. São Paulo: Páginas & letras editora e gráfica. 2002. 65p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta. 2004. 2º Edição. 635p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO GRANDE DO SUL (FEPAM). **Base dos estudos de fauna, flora e recursos hídricos**. Porto Alegre, 2008. v. 3, 101 p. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zonem\\_silvic.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zonem_silvic.asp)>. Acesso em: 15 março 2014.

GOMES, J. M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa. v.27, n.2, p. 113-127, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: Congresso Latino Americano de Ciência Do Solo, 13. 1996, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Campinas: SBCS, 1996. p. 133 - 180.

GRASSI FILHO, H. **Macronutrientes**. Disponível em: [http://www.fca.unesp.br/instituicao/departamento/recursos\\_naturais/ci\\_solo](http://www.fca.unesp.br/instituicao/departamento/recursos_naturais/ci_solo). Acesso em 12/08/2013.

HOSSAIN, L.; HUDA, S. M. S.; HOSSAIN, M. K. Effects of industrial and residential sludge on seed germination and growth parameters of *Acacia auriculiformis* seedlings. **Journal of Forestry Research**, v. 20, n.4, p. 331 – 336, 2009.

HUNT, G.A. Effect of styroblock design and treatment on morphology of conifer seedlings. In: **Target seedlings symposium, meeting of the western Forest nursery associations, general technical report RM-200**. Roseburg: Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 218-222; 1990.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Precipitação diária e temperatura máxima Cordeiro, RJ. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?>> Acesso em 15 março 2014.

JOHNSON, J. D.; CLINE, M. L. Seedling quality of southern pines. In: DUREYA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.). **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 143-162.

JOSÉ, A.C.; DAVIDE, A.C.; OLIVEIRA, S.L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v.11, n.2, p.187-196, 2005.

LARCHER, W. A. utilização dos elementos minerais. In: **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, p. 183-230. 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Vol. 2. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Platarum, 2002.

- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 251 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Ed. Aprenda fácil, 2001. 75 p.
- 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. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.
- PEZZUTTI, R. V.; CALDATO, S. L. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros do colo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, 2011.
- REIS, M. G. F. et al. 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.
- RITCHIE G.A, LANDIS T.D. **The container tree nursery manual**. RNGR. Disponível em: <<http://www.rngr.net/Publications/ctnm/volume7>>. Acessado em 11/02/2014.
- ROCHA, J. H. T. et al. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v.33, n.73, p. 27 – 36, 2013.
- ROSSA, U. B. et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sesbania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 93 – 104, 2013.
- SALIFU, K. F., AND TIMMER, V. R. 2001. Nutrient retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. **Soil Science Society of American Journal**, Sacramento, n. 65, p.905-913, 2001.
- SANTOS, G. R. **Uso de biossólido na composição de substratos para produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica**. 2013. 32 p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K G. Substratos à 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.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R. **BHBRASIL: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1998. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>>. Acesso em: 15 março 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.
- THOMPSON B. E. **Seedling morphological evaluation—what you can tell by looking**. In: Duryea ML. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Corvallis (OR): Oregon State University, Forest Research Laboratory. p 59-71, 1985.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. C. **The water balance**. Centeron: Drexel institute of Technology, 1955. 104p.

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.

VARELA, S; MARTÍNEZ, A. Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*. **Bosque**, Valdivia, v. 34, n. 3, p. 281-289, 2013.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.299-325, 2006.