



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



**MÔNICA MORENO GABIRA**

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS FLORESTAIS PRODUZIDAS COM  
SUBSTRATOS A BASE DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO**

**Botucatu - SP**

**2018**



**MÔNICA MORENO GABIRA**

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS FLORESTAIS PRODUZIDAS COM  
SUBSTRATOS A BASE DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da Unesp Campus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Ciência Florestal

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Magali Ribeiro da Silva

**Botucatu**

**2018**

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

G114c Gabira, Mônica Moreno, 1992-  
Crescimento e qualidade de mudas florestais produzidas com substratos a base de lodo de esgoto compostado / Mônica Moreno Gabira - Botucatu: [s.n.], 2018  
87 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Magali Ribeiro da Silva  
Inclui bibliografia

1. Árvores - Mudas. 2. Lodo de esgoto. 3. Viveiros florestais. I. Silva, Magali Ribeiro da. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

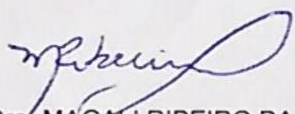
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS FLORESTAIS PRODUZIDAS  
COM SUBSTRATOS A BASE DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO"**

**AUTORA: MÔNICA MORENO GABIRA**

**ORIENTADORA: MAGALI RIBEIRO DA SILVA**

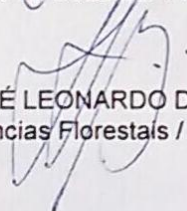
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MAGALI RIBEIRO DA SILVA  
Departamento de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



Profa. Dra. GISELA FERREIRA  
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES  
Deptº de Ciências Florestais / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

Botucatu, 21 de fevereiro de 2018.



**Dedico**

*Aos meus pais Maria Aparecida e Gilmar,*

*Às minhas irmãs Mariana e Martha*

*E aos meus avós, que sempre olham por mim.*





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por cuidar de mim e me dar um caminho tranquilo a seguir.

Durante os anos de graduação e pós-graduação tive a oportunidade de conviver com pessoas maravilhosas, que transmitiram a mim todos os ensinamentos dos quais precisei ao desenvolver este trabalho e sei que ainda precisarei ao longo da minha vida. Por isso agradeço à FCA/UNESP por toda a infraestrutura e apoio não apenas no desenvolvimento da minha pesquisa de mestrado, mas em toda a minha caminhada acadêmica.

Agradeço especialmente à professora Dr.<sup>a</sup> Magali Ribeiro da Silva, por ser um exemplo de profissional e pessoa, por estar sempre presente e por, acima de tudo, ensinar com amor.

Aos servidores Claudinho, João, Dinho e Dicão, obrigada por fazer o seu trabalho com tanto zelo, por todo o apoio durante o desenvolvimento do experimento e pelas boas conversas.

Ao Richardson, pela amizade e por todos os valiosos conselhos e inestimável ajuda nas estatísticas e interpretação dos dados desta pesquisa.

Aos amigos que fiz nesses anos: Aline, Gláucia, Laura, Lucas, Ludmila, Jhuan, Rafael, Rafael Barroca e Vitória, sem vocês os dias no viveiro teriam sido mais longos e tristes. Obrigada por todas as risadas, conselhos e grande ajuda.

À FAPESP/ SABESP pelo financiamento do Projeto “Compostagem do Lodo de Esgoto: avaliação do processo, do produto gerado e dos custos” e à equipe deste projeto de pesquisa, em especial ao professor Dr. Roberto Lyra Villas Bôas e à Dr.<sup>a</sup> Caroline de Moura D’Andréa Mateus, obrigada pela oportunidade de realizar o meu experimento junto a vocês, por todos os aprendizados e conselhos.

À CAPES, pelo auxílio financeiro na forma de concessão de bolsa.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Gilmar, por todo o amor e fé que depositam em mim, por terem me ensinado desde muito cedo a importância do conhecimento, por me apoiarem na realização dos meus sonhos e estarem presentes em todas as minhas conquistas.

Às minhas irmãs, Mariana e Martha, e a toda a minha família, por estarem sempre ao meu lado e por acreditarem, respeitarem e confiarem em minhas escolhas.

Ao meu namorado César, por acreditar e confiar em mim em todos os momentos, por me incentivar a ser sempre melhor e por toda a paciência e amor que tornam a minha caminhada muito mais leve.

À todos os amigos que me acompanharam nos últimos 8 anos, em especial às amigas/irmãs da república Maracangalha e à turma XXIII da Engenharia Florestal, por todos os momentos bons que passamos juntos e que, de alguma forma, me trouxeram até aqui.

## RESUMO

O reaproveitamento de resíduos provenientes do tratamento de esgotos domésticos se faz cada vez mais necessário e a sua utilização no meio agrícola e florestal apresenta-se como uma boa opção de uso deste material. Os objetivos desta pesquisa foram avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de três espécies florestais (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Cedrella fissilis*) produzidas com substratos a base de lodo de esgoto compostado e submetidas a três lâminas de água diárias. Após a avaliação física dos substratos, foram escolhidos aqueles com as características mais favoráveis à produção de mudas florestais, bem como um material comercial usado como testemunha. Cada espécie foi tratada como um experimento, com um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4 (lâminas de irrigação e substratos). Para as espécies nativas, as lâminas de irrigação testadas foram de 6, 9 e 12 mm e para o eucalipto foram de 11, 14 e 17 mm. Foram utilizados um substrato comercial a base de turfa *Sphagnum* (SC); lodo de esgoto compostado com bagaço de cana-de-açúcar na proporção volumétrica 1:3 (LBC); lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto na proporção volumétrica 1:3 (LCE) e lodo de esgoto compostado com bagaço de cana-de-açúcar + lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto em proporção volumétrica 2:1 (LBC+LCE). Foram avaliados ao final do ciclo de produção das mudas a altura, diâmetro do colo, massa seca da parte aérea, radicular e total, área foliar, conformação do sistema radicular, índice de qualidade de Dickson, SPAD, conteúdo de nutrientes e fração de lixiviado. Os dados foram submetidos à Análise de Variância, seguida de teste de Scott-Knott quando houve diferença significativa das médias e a correlação de Pearson foi utilizada para os dados de conteúdo de nutrientes. As formulações empregando lodo de esgoto, bagaço de cana e casca de eucalipto mostraram-se viáveis tanto para a produção de mudas de eucalipto como para a produção de mudas das espécies nativas, com manejo hídrico específico para cada formulação e espécie.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, lâminas de água, viveiro



## ABSTRACT

The reuse of residues resulting from the treatment of domestic sewage is necessary and the use of this material in agriculture and forestry is a good option. The aims of this research were to evaluate the growth and the quality of seedlings of three species (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Pseudobombax grandiflorum* and *Cedrella fissilis*) produced with substrates based on composted sewage sludge and submitted to three daily water depths. After the physical characterisation of the substrates, those with the best characteristics to seedlings production were selected, as well as a commercial material which was used as a witness. Each species was considered an experiment completely randomized in factorial design 3 x 4 (water depths and substrates). For the native species, the water depths used were 6, 9 and 12 mm and for the Eucalyptus the water depths used were 11, 14 and 17 mm. The substrates used were: commercial substrate based on *Sphagnum* peat (SC); sewage sludge composted with sugarcane bagasse (1:3 v:v)(LBC); sewage sludge composted with eucalyptus bark (1:3 v:v)(LCE) and sewage sludge composted with bagasse + sewage sludge composted with eucalyptus bark in a volumetric proportion (2:1)(LBC+LCE). At the end of the production cycle of the seedlings the following parameters were evaluated: height, stem diameter, dry mass, leaf area, root system conformation, Dickson quality index, SPAD index, nutrient content and leaching fraction. The data were subjected to analysis of variance followed by Scott-Knott test when there was significant difference of means and Pearson correlation index was used for the nutrient content data. The formulations using sewage sludge, bagasse and eucalyptus bark proved being practicable for both the production of eucalyptus seedlings and native species seedlings, with specific water management for each formulation and species.

**Key words:** sewage sludge, water depth, nursery



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Exemplos de sistemas radiculares com categorias ruim (1), bom (2) e ótimo (3). .....	40
<b>Figura 2</b> - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento.....	52
<b>Figura 3</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos sobre a condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) do lixiviado em mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> . .....	54
<b>Figura 4</b> - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura.....	62
<b>Figura 5</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na condutividade elétrica do lixiviado ( $\text{dS m}^{-1}$ ) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> . .....	64
<b>Figura 6</b> - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	72
<b>Figura 7</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na condutividade elétrica do lixiviado de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> . .....	73





## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Altura (cm) e desvio padrão de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> e <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 35 e 22 dias após a semeadura, respectivamente .....	36
<b>Tabela 2</b> - Altura (cm) e desvio padrão de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 30 dias após o estaqueamento .....	37
<b>Tabela 3</b> - Macroporosidade (macro), microporosidade (micro), porosidade total (PT), retenção de água, densidade seca (DS), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) dos materiais submetidos a avaliação física e química.	43
<b>Tabela 4</b> - Características químicas dos substratos (macro e micronutrientes disponíveis) utilizados para a produção de mudas florestais. ....	45
<b>Tabela 5</b> - Mortalidade das estacas de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 30 dias após o estaqueamento. ....	46
<b>Tabela 6</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento .....	47
<b>Tabela 7</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro (mm) do colo de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento .....	48
<b>Tabela 8</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca foliar (g), caulinar (g) e radicular (g) de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento .....	49
<b>Tabela 9</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no Índice de Qualidade de Dickson em mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento.....	50
<b>Tabela 10</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm <sup>2</sup> ) de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento .....	51
<b>Tabela 11</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na medição indireta de clorofila através de índice SPAD de folhas de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento.....	53

<b>Tabela 12</b> - Efeito das lâminas de irrigação e dos substratos na fração de lixiviado (%) de mudas clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> 104 dias após o estaqueamento .....	54
<b>Tabela 13</b> - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> no viveiro 104 dias após o estaqueamento.....	55
<b>Tabela 14</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura.....	57
<b>Tabela 15</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro (mm) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura .....	58
<b>Tabela 16</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm <sup>2</sup> ) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura .....	59
<b>Tabela 17</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca aérea (g), radicular (g) e total (g) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura ...	60
<b>Tabela 18</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura.....	61
<b>Tabela 19</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no índice de coloração verde (SPAD) em mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura .....	63
<b>Tabela 20</b> - Efeito das lâminas de irrigação e dos substratos na fração de lixiviado (%) de mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura.....	65
<b>Tabela 21</b> - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular das mudas de <i>Cedrella fissilis</i> 151 dias após a semeadura.....	66
<b>Tabela 22</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	67
<b>Tabela 23</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro do colo (mm) de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	68
<b>Tabela 24</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm <sup>2</sup> ) de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	69
<b>Tabela 25</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca aérea (g), radicular (g) e total (g) de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura.....	70

<b>Tabela 26</b> - Efeito dos substratos sobre o índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura.....	71
<b>Tabela 27</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos no índice de coloração verde (SPAD) em mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	73
<b>Tabela 28</b> - Efeito das lâminas de água e dos substratos na fração de lixiviado de mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura.....	74
<b>Tabela 29</b> - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular das mudas de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> 180 dias após a semeadura .....	75



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	23
2.1	Lodo de esgoto .....	23
2.2	Substrato .....	25
2.3	Qualidade de mudas .....	27
2.4	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden x <i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake.....	29
2.5	<i>Cedrella fissilis</i> Vell.....	30
2.6	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cavanilles) A. Robyns .....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	33
3.1	Local e época .....	33
3.2	Espécies.....	33
3.3	Delineamento estatístico .....	33
3.4	Insumos.....	34
3.4.1	Embalagens.....	34
3.4.2	Substratos .....	34
3.4.3	Água .....	34
3.4.4	Fertilização .....	35
3.5	Desenvolvimento da pesquisa.....	35
3.6	Avaliações .....	38
3.6.1	Análise dos substratos .....	38
3.6.2	Análise das plantas .....	38
3.6.2.1	Sobrevivência das estacas de eucalipto.....	38
3.6.2.2	Características das mudas .....	38
3.6.2.3	Fração de lixiviado.....	40
3.7	Análise estatística.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
4.1	Avaliação física e química dos substratos .....	43
4.2	Experimento 1: <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> .....	46
4.2.1	Sobrevivência das estacas .....	46
4.2.2	Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção .....	47

4.3	Experimento 2: <i>Cedrella fissilis</i> .....	57
4.3.1	Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção .....	57
4.4	Experimento 3: <i>Pseudobombax grandiflorum</i> .....	67
4.4.1	Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção .....	67
5	CONCLUSÕES.....	77
6	REFERÊNCIAS .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é o resíduo sólido resultante do tratamento de efluentes domésticos e industriais e, com o aumento populacional dos centros urbanos, a produção deste resíduo tem gerado problemas relacionados à sua destinação. Muitos países utilizam o lodo de esgoto no setor agrícola como forma de dispor esse material de forma mais sustentável e diminuir os impactos ambientais e sociais gerados por aterros sanitários próximos aos centros urbanos.

No Brasil o uso do lodo de esgoto no setor agrícola é regulamentado pela Resolução CONAMA N. 375/2006, que categoriza todas as formas de uso do material, os limites máximos de concentração de contaminantes, bem como todas as culturas nas quais o lodo pode ser utilizado. O uso do lodo de esgoto como fertilizante orgânico pode reduzir o uso de fertilizantes minerais (CALDEIRA et al., 2012a) e o uso deste material como substrato para a produção de mudas florestais pode ser boa alternativa aos materiais já existentes no mercado.

O substrato é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de mudas em recipientes de volume restrito (DELARMELENA et al., 2014). Suas características físicas e químicas influem diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das mudas e, conseqüentemente, na sua qualidade. Muitos materiais têm sido utilizados como substratos para a produção de mudas, dentre os mais utilizados estão a turfa, casca de Pinus, fibra de coco, casca de arroz, vermiculita e perlita.

O uso de resíduos orgânicos, como o lodo de esgoto, na produção de mudas florestais pode ser uma alternativa. Alguns trabalhos mostram que é possível obter boas características físicas que geram mudas com sistemas radiculares bem agregados e com qualidade para serem levadas a campo (CALDEIRA et al., 2013; TRAZZI et al., 2014; TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014).

Esta qualidade é um fator determinante para o estabelecimento de povoamentos florestais, sejam eles para fins comerciais ou de restauração de áreas degradadas (BARBOSA et al., 2003). A sobrevivência das mudas após o plantio e o seu desenvolvimento inicial depende essencialmente das suas condições ao término do período de produção no viveiro.

A qualidade das mudas pode ser definida a partir de variáveis morfológicas como altura, diâmetro e massa seca, além da ausência de patologias e pragas e a conformação do sistema radicular. A partir dos dados mencionados, pode-se calcular o Índice de Qualidade de Dickson e a relação altura/diâmetro.

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas às novas práticas de manejo e ao uso de novos materiais para a produção de mudas florestais é essencial para minimizar os impactos socioambientais relacionados a esse setor produtivo. Desta forma, esta pesquisa baseia-se na hipótese de que substratos a base de lodo de esgoto compostado, submetidos à lâmina de irrigação adequada, podem promover o desenvolvimento de mudas florestais com qualidade adequada para o plantio em campo.

Os objetivos desta pesquisa foram avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de três espécies florestais (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Cedrella fissilis*) produzidas com substratos à base de lodo de esgoto compostado e submetidas a três lâminas de água diárias.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Lodo de esgoto

Os problemas ambientais relacionados aos grandes centros urbanos e industriais vêm sendo foco de longas discussões no mundo todo. Nota-se que os danos ambientais causados pelas atividades antrópicas estão se tornando críticos e irreversíveis, com influências significativas no modo de vida e de produção das populações (FARIA et al., 2013). A aplicação de melhores práticas de gerenciamento, o uso correto de recursos, a eficiência no uso de energia, reaproveitamento dos materiais e a redução no consumo de água são características imprescindíveis de alternativas que causem menores riscos e impactos ambientais (GOMES et al., 2006).

O lodo de esgoto é o resíduo sólido proveniente dos processos de tratamentos de efluentes domésticos e industriais e a sua produção tem aumentado significativamente em função do aumento populacional. A maior parte do lodo gerado no Brasil é destinada a aterros sanitários, que custam muito aos cofres públicos, e frequentemente esse material causa problemas ambientais e sanitários (PÉREZ et al., 2011), fazendo-se necessária a busca por alternativas para a disposição desses resíduos orgânicos.

Segundo Berton e Nogueira (2010), os esgotos sanitários constituem-se de 99,99% de água e 0,01% de sólidos, sendo que a parte sólida é constituída majoritariamente de substâncias orgânicas, com apenas 30% de partículas inorgânicas. A constituição do lodo de esgoto sofre ainda influência da sua origem, sendo a maior parte dos materiais tratados em Estações de Tratamento de Esgoto provenientes de resíduos domésticos, águas pluviais e podem ainda conter certo grau de resíduos industriais.

A alternativa mais comum para a destinação do lodo de esgoto em outros países é a reciclagem agrícola, recomendada pela Agenda 21 (BRASIL, 2004), considerando que esse material possua características químicas e biológicas seguras para a cultura e as populações vizinhas (BARROS et al., 2011). Segundo Caldeira et al. (2014), o uso de resíduos orgânicos como componente de substratos para a produção de mudas florestais representa uma economia importante no

processo de produção, além de evitar que o acúmulo desse material se torne um problema ambiental.

O lodo de esgoto contém características importantes para o bom desenvolvimento de mudas florestais, dentre elas a grande porcentagem de matéria orgânica, macro e micronutrientes que auxiliam na manutenção da fertilidade do solo (CALDEIRA et al, 2012a). Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), a grande concentração de nutrientes constatada no lodo de esgoto pode representar uma economia expressiva no consumo de fertilizantes em viveiros, mas é necessário conhecimento prévio acerca da disponibilidade destes nutrientes e das reais necessidades nutricionais das espécies a serem produzidas. Além disso, o lodo de esgoto é considerado excelente para a estabilização da estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e minerais (COSTA et al., 2009).

A demanda crescente por produtos florestais implica em um aumento cada vez maior do uso de fertilizantes minerais devido à alta degradação dos solos destinados à atividade florestal. A utilização de fertilizantes orgânicos representa uma redução no consumo de fertilizantes inorgânicos, que em geral são uma grande parte dos custos de produção de mudas (CALDEIRA et al., 2012a). Tsutya (2000) também cita o uso na formulação de substratos para plantas como uma possibilidade de utilização deste material devido às suas propriedades físicas e químicas.

Por outro lado, é importante atentar para os cuidados que devem ser tomados quando se faz uso agrícola do lodo de esgoto, alguns aspectos como a presença de metais pesados podem afetar negativamente o desenvolvimento vegetal e causar problemas de fitotoxicidade e contaminação ambiental (CHANG et al., 1997). O uso do lodo de esgoto na produção de mudas florestais minimiza os problemas de contaminação ambiental, considerando que a quantidade de resíduo nos tubetes é insignificante com relação à área em que a muda será plantada e a baixa frequência de plantio (ROCHA et al., 2013).

A Resolução CONAMA N. 375/2006 regulamenta no Brasil o uso do lodo de esgoto para a agricultura e silvicultura. São categorizadas nesta legislação todas as culturas para as quais é permitido o uso do lodo de esgoto, bem como os limites

máximos de concentração de contaminantes, de forma a não haver prejuízos à saúde humana e ao ambiente.

A composição dos substratos a base de lodo de esgoto ainda é uma dúvida. Guerrini e Trigueiro (2004) concluíram, a partir de características físicas e químicas de substratos contendo diferentes proporções de lodo de esgoto, que os materiais mais adequados para a produção de mudas florestais seriam aqueles com 30 a 60% de biossólido (v:v). Bonnet et al. (2002) também chegaram à mesma conclusão em experimento com *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* e *Mimosa scabrela*. No entanto, a recomendação da composição dos materiais a serem usados como substrato pode variar de acordo com as características da espécie a ser produzida.

Caldeira et al. (2013) demonstraram que a mistura de lodo de esgoto, casca de arroz carbonizada e palha de café *in natura* proporcionou ótimo crescimento de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. Rocha et al. (2013) determinaram que o uso de material composto por pelo menos 40% de lodo de esgoto proporcionou desenvolvimento satisfatório de mudas do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Caldeira et al. (2014) também encontraram resultados satisfatórios no desenvolvimento das características morfológicas de mudas de *Acacia mangium* com o uso de substrato composto com lodo de esgoto.

## 2.2 Substrato

Dentre os diversos fatores que influem na produção de mudas de qualidade, o substrato figura como um dos mais importantes, pois a germinação de sementes, a iniciação radicular e o enraizamento da muda dependem firmemente da qualidade de suas características físicas e químicas (DELARMELINA et al., 2014; WENDLING et al, 2002). Segundo Trazzi et al. (2014), o substrato exerce uma grande influência na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das plantas, afetando diretamente o seu desenvolvimento e qualidade. A diversidade de opções de substratos é muito grande e não existe uma composição perfeita para todas as condições e espécies, normalmente utilizam-se misturas de diferentes componentes, o que tem gerado bons resultados (GONÇALVES et al., 2014; SIMÕES et al., 2012).

Segundo Hartmann et al. (2011), para que um substrato seja considerado de qualidade, espera-se que sustente a muda e forneça condições adequadas para o desenvolvimento do sistema radicular e os nutrientes necessários para o crescimento da planta, também deve ser isento de propágulos de plantas invasoras, pragas e fungos patogênicos. Rosa Jr. et al. (1998) ainda explicam que os substratos devem ser capazes de reter quantidades suficientes de água, oxigênio e nutrientes, devem oferecer pH compatível com as necessidades da espécie, além de condutividade elétrica adequada e ausência de elementos químicos em níveis tóxicos. Além disso, é interessante que o substrato apresente características físicas e químicas constantes entre lotes (GONÇALVES et al., 2000) e que seja economicamente viável e de fácil obtenção, pois representa um grande gasto para os viveiristas (FONSECA, 2001).

Considerando a produção de mudas de uma forma geral, muitos materiais têm sido utilizados como componentes de substratos, dentre eles destacam-se a turfa, areia, isopor, espuma fenólica, argila expandida, perlita, vermiculita, casca de arroz, casca de Pinus, fibra de coco e serragem (SILVA et al., 2014). No setor florestal, os principais comerciais são à base de turfa, fibra de coco e casca de Pinus em combinações com vermiculita e casca de arroz torrefada ou carbonizada.

A combinação de diferentes substratos gera características favoráveis ao desenvolvimento vegetal, porém os mesmos materiais podem apresentar características indesejáveis à planta quando usados isoladamente (WENDLING e GATTO, 2002). Segundo Gonçalves et al. (2000), substratos com predominância de componentes orgânicos podem ter a sua macroporosidade bloqueada em grande parte pela presença de partículas com diâmetro menor ou igual ao diâmetro médio dos macroporos, provenientes de outros materiais como terra de subsolo.

O uso da turfa como um dos componentes mais comuns de substratos gera preocupações no âmbito ambiental e econômico, pois, por não ser um recurso prontamente renovável, está passível de redução da sua disponibilidade e aumento do custo para o produtor (CEGLIE et al., 2015; HEISKANEN, 2013). O uso de lodo de esgoto compostado apresenta-se como uma das possíveis alternativas para a escassez deste recurso e uma alternativa para o uso deste material.

O aproveitamento de resíduos orgânicos como substrato para plantas tem sido foco de inúmeras pesquisas, pois apresenta vantagens como a facilidade de obtenção e o baixo custo do material, características físicas que proporcionam boa agregação das raízes e formação de sistema radicular de boa qualidade, além de ser uma alternativa importante ao descarte do material no ambiente (GONÇALVES et al., 2000).

Trazzi et al. (2014) demonstraram que as propriedades físicas do substrato, dentre elas a densidade aparente, porosidade total e macroporosidade, e as propriedades químicas (pH e capacidade de troca catiônica) apresentam relação com as variáveis biométricas das mudas (altura e diâmetro do colo). Simões et al. (2012), por sua vez, demonstraram que as combinações de diferentes materiais geram substratos com propriedades físicas distintas, indicando a necessidade de manejos hídricos específicos para cada composição de substrato.

Esses resultados mostram a necessidade do desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao uso de materiais orgânicos alternativos, de fácil obtenção e que não apresentem limitações ao crescimento das mudas nem riscos aos viveiristas.

### **2.3 Qualidade de mudas**

Dentre os métodos utilizados para a recuperação de áreas desmatadas, o plantio de mudas arbóreas nativas figura dentre os mais utilizados atualmente, sendo eficiente quanto ao tempo de recuperação da área e prevenção de maiores danos ambientais (MODNA et al., 2010). Segundo Caldeira et al. (2012b), o sucesso dos povoamentos florestais não depende apenas das espécies escolhidas para o plantio, mas está estreitamente relacionado com a qualidade das mudas produzidas.

O reflorestamento, como investimento em longo prazo, exige a escolha de mudas com alta qualidade para que não haja perdas relacionadas ao plantio (TÉO et al., 2014). Além disso, a demanda por mudas florestais tem aumentado nos últimos anos em função de legislações ambientais mais exigentes e do interesse de produtores em associar suas culturas tradicionais a culturas florestais.

Segundo Barbosa et al. (2003), a qualidade das mudas florestais é um fator determinante no estabelecimento de povoamentos para recuperação de áreas naturais. Mudanças rustificadas, sem sinais de patologias e deficiências nutricionais, são mais capazes de atingirem seu maior potencial de crescimento logo após o plantio em campo, garantindo a sua sobrevivência perante as condições adversas do meio (LISBOA et al., 2012).

Mudas são consideradas de boa qualidade de acordo com a sua finalidade, mas independente do que se espera do plantio, elas devem apresentar características que possibilitem o seu desenvolvimento em campo (DUMROESE et al., 2005) para evitar gastos com a manutenção do plantio e o replantio de mudas. Inúmeras pesquisas têm sido realizadas a fim de melhorar a qualidade das mudas, tendo como objetivo final a adaptação em campo e sobrevivência após o plantio (GONÇALVES et al., 2000).

Dentre as características que indicam a qualidade das mudas, destacam-se a uniformidade do lote, rigidez das hastes, número de folhas, ausência de sintomas de deficiência, doenças e pragas, sistema radicular com raiz pivotante bem aderida ao substrato e presença de raízes novas. Além de todas as características citadas, uma boa muda é aquela capaz de se adaptar às mudanças de ambiente que ocorrem no momento do plantio em campo (WENDLING et al., 2002), bem como superar rapidamente a competição com plantas daninhas, reduzindo os custos de manutenção do plantio (BARROSO et al., 2000).

Inúmeros fatores são decisivos na produção de mudas florestais de qualidade, dentre eles os manejos de irrigação e de fertilização, que devem ser adequados à época do ano, ao tipo de embalagem e ao substrato (CIAVATTA et al., 2014), além de considerar as necessidades intrínsecas a cada espécie. Porém, a falta de conhecimentos dos viveiristas ainda gera a produção de mudas de baixa qualidade para plantio em campo (DEGRANDE et al., 2012).

A determinação da qualidade das mudas pode ser feita a partir de uma ou várias características morfológicas e fisiológicas e cada autor determina as suas características de interesse. Por exemplo, Lopes et al. (2011) adotam a relação entre altura e diâmetro do colo das mudas, enquanto Trazzi et al. (2010) assumem a matéria seca como boa característica para determinar a qualidade das mudas.

As características morfológicas das mudas têm se demonstrado de grande importância para a previsibilidade do seu desempenho em campo (JACOBS et al., 2005). Por serem características de fácil medição, que não necessitam de equipamentos sofisticados e não são de caráter destrutivo, a altura e o diâmetro das mudas são utilizados por muitos autores para determinar a qualidade das mudas (GOMES et al., 2002; THEBALDI et al., 2015; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014).

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é considerado por muitos autores na determinação da qualidade de mudas por ser uma variável completa, porém é de difícil obtenção devido ao caráter destrutivo das avaliações. Segundo Caldeira et al. (2012a), mudas com maior valor de IQD são mudas com mais qualidade, mas deve-se considerar os custos da produção para atingir tal nível de qualidade.

A qualidade da muda é influenciada essencialmente em função do manejo adotado no viveiro e o plantio em campo deve ocorrer de forma que as mudas tenham condições de se desenvolver adequadamente (STAPE et al., 2001; LOPES, 2007). Entretanto, os viveiristas ainda enfrentam dificuldades na produção de mudas florestais nativas, pois não existem padrões específicos para cada espécie em relação aos procedimentos realizados em viveiros, fazendo com que cada um utilize seus próprios padrões, baseados em observações empíricas (SILVA et al., 2004).

O impacto ambiental das práticas de produção agrícola vem sendo questionado e a indústria de mudas florestais não é exceção. Consideráveis esforços estão sendo feitos para desenvolver melhores práticas de gestão para minimizar os efeitos ambientais (MILLION et al., 2007), pois a maioria dos viveiros está localizada dentro de centros urbanos.

#### **2.4 *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**

O gênero *Eucalyptus* possui mais de 720 espécies e as primeiras plantas foram trazidas ao Brasil no ano de 1868 para fins ornamentais. Apenas em 1904 a madeira de eucalipto passou a ser empregada em dormentes e lenha na indústria ferroviária (MORA e GARCIA, 2000). As espécies do gênero *Eucalyptus* se

adaptaram muito bem às diferentes condições climáticas brasileiras e atualmente são as espécies folhosas mais utilizadas na indústria de papel e celulose.

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (2016), a área plantada de eucalipto representa 71,9% do total de área plantada para fins comerciais no Brasil, totalizando 5,6 milhões de hectares que estão divididos principalmente entre os estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%).

O *Eucalyptus grandis* é a espécie mais importante cultivada no país, tendo a sua madeira muito utilizada na construção civil devido à alta qualidade em plantios de ciclos longos, além do uso na indústria de celulose, energia e fibras (BARREIROS et al., 2007).

O *Eucalyptus urophylla* é de grande importância nos programas de melhoramento genético no Brasil devido à sua resistência ao déficit hídrico, muito comum em algumas regiões do país. Além disso, essa espécie apresenta alta resistência ao cancro e, apesar de não ter um crescimento tão eficiente quanto o *E. grandis*, tem boa regeneração através de brotação (CHAVES et al., 2004).

Dentre os híbridos utilizados na propagação vegetativa de espécies do gênero *Eucalyptus*, os de *E. grandis* e *E. urophylla* se destacam por combinarem as altas taxas de crescimento do primeiro com a capacidade de rebrota e resistência à doenças do segundo (POTTS e DUNGEY, 2004). O clone I-144 de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* é um dos mais utilizados no Brasil, pois é um dos clones mais tolerantes ao déficit hídrico (MÜLLER et al., 2017) e produz madeira de boa qualidade para uso em bioenergia (PROTÁSIO et al., 2014), dentre outros usos.

## **2.5 *Cedrella fissilis* Vell.**

Conhecida popularmente como cedro-rosa, a espécie *Cedrella fissilis*, pertencente à família Meliaceae, tem ampla dispersão nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, do Rio Grande do Sul a Minas Gerais. Ocorre principalmente nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (LAZAROTTO et al., 2012).



Sua madeira é muito apreciada no mercado nacional e internacional devido à sua semelhança com a coloração do mogno (CARVALHO, 1994), o que a fez ser intensamente explorada por muitos anos. Sua madeira leve possibilita diversos usos, podendo ser utilizada em compensados, marcenaria, instrumentos musicais e até na construção civil, naval e aeronáutica (LORENZI, 2002).

Caldas (2006) considera o cedro-rosa uma das espécies prioritárias para o desenvolvimento de estudos relacionados à produção de sementes para uso em plantios homogêneos ou de restauração de áreas degradadas. A espécie apresenta alta tolerância a contaminação por metais pesados no solo (DE SÁ et al., 2000), podendo ser utilizada na recuperação de áreas contaminadas. Tótola e Borges (2000) obtiveram bons resultados na produção de mudas de cedro-rosa em solo com espólio de bauxita, associado à inoculação de micorrizas arbusculares.

A espécie é considerada vulnerável na “Lista Nacional de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção” (BRASIL, 2014), fazendo-se necessário o desenvolvimento de estudos relacionados à sua distribuição, tratos silviculturais, melhoramento e seleção genética (NAVROSKI et al., 2016), bem como os fatores que influenciam o desenvolvimento e estabelecimento de mudas em campo. Apesar do interesse, esta espécie é carente de informações que viabilizem o seu plantio em larga escala ou mesmo em plantios de restauração (XAVIER et al., 2003).

## **2.6 *Pseudobombax grandiflorum* (Cavanilles) A. Robyns**

*Pseudobombax grandiflorum* é uma espécie da família Bombacaceae, recorrente em áreas de Mata Atlântica desde a região Nordeste até a região Sul, sendo encontrada principalmente nos estados de Alagoas, Bahia, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (DUARTE, 2006). Sua madeira, por ser leve e macia ao corte, pode ser empregada em caixotaria e compensados. Além disso, é uma espécie extremamente ornamental e muito utilizada em plantios para recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2002).

Estudos têm apontado a espécie, bem como outros exemplares do mesmo gênero, como principal fonte de alimentação para Psitacídeos e morcegos em

fragmentos de floresta (FRANCISCO et al., 2002; GALETTI, 1993) e como planta medicinal utilizada por comunidades ribeirinhas no Mato Grosso (RIBEIRO et al, 2017).

Estudos têm sido realizados com relação à maturação e germinação de sementes desta espécie (LOPES et al., 2007), porém ainda são escassos os estudos relacionados a sua produção de mudas. O alto consumo das flores e sementes desta espécie, sua utilização, bem como o seu bom desenvolvimento em áreas degradadas demonstra sua importância para a fauna local e a necessidade de maiores estudos a respeito de espécies deste gênero.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local e época**

O experimento foi desenvolvido no Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudanças Florestais, pertencente ao Departamento de Ciência Florestal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – UNESP, Campus Botucatu-SP, no período de Novembro de 2016 a Julho de 2017.

A Faculdade de Ciências Agrônômicas localiza-se no município de Botucatu, sob as coordenadas geográficas 22°31' de latitude Sul e 48°15' de longitude Oeste, a 840 metros de altitude. O clima da região, pela classificação de Köppen é tipo Cwa, caracterizando clima tropical de altitude, com verão quente chuvoso e estação seca no inverno (CEPAGRI, 2017).

#### **3.2 Espécies**

Foram estudadas três espécies arbóreas com diferentes ciclos de produção em viveiro, sendo elas: *Pseudobombax grandiflorum* (Embiruçu), *Cedrella fissilis* (Cedro-rosa) e um clone híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. As mudas nativas foram produzidas a partir de sementes coletadas de plantas matrizes selecionadas na região de Botucatu-SP e o eucalipto foi produzido a partir de estacas adquiridas no Viveiro de Mudanças Avaré, em Avaré-SP.

#### **3.3 Delineamento estatístico**

Devido às espécies terem distintos ciclos de produção no viveiro, cada espécie se constituiu em um experimento. Os experimentos tiveram distribuição inteiramente casualizada em esquema fatorial 4x3 (quatro substratos e três manejos hídricos), totalizando 12 tratamentos. Cada tratamento foi composto por quatro parcelas com 12 mudas úteis.

### 3.4 Insumos

#### 3.4.1 Embalagens

As mudas nativas foram conduzidas em tubetes de polipropileno com volume de 92cm<sup>3</sup>, suportados por bandejas com capacidade para 108 tubetes.

As mudas de Eucalipto foram conduzidas em tubetes de polipropileno com volume de 50cm<sup>3</sup>, suportadas por bandejas com capacidade para 187 células.

#### 3.4.2 Substratos

Os substratos utilizados para a produção das mudas foram obtidos a partir da compostagem de lodo de esgoto, proveniente de estação de tratamento de esgoto da SABESP (Botucatu), misturado a dois componentes estabilizadores (bagaço de cana-de-açúcar e casca de eucalipto) na proporção de 1:3, base em volume (v:v). A partir dos dois materiais resultantes da compostagem, foram feitas cinco misturas com diferentes proporções volumétricas destes materiais e estas foram submetidas à análise física conforme Carvalho e Silva (1992), descrito por Silva (1998).

Com base nos resultados da análise física, foram escolhidos três materiais compostos de lodo de esgoto para serem utilizados na produção das mudas, são eles: Substrato composto de lodo de esgoto compostado com bagaço de cana-de-açúcar na proporção de 1:3, base em volume (v:v); Substrato composto de lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto na proporção de 1:3 (v:v) e Substrato composto da mistura dos materiais com bagaço de cana-de-açúcar e casca de eucalipto na proporção de 2:1 (v:v). Como testemunha foi utilizado um substrato comercial composto por turfa *Sphagnum*, vermiculita e casca de arroz torrefada.

#### 3.4.3 Água

A água de irrigação do viveiro é proveniente da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), com pH de aproximadamente 6,0 e condutividade elétrica média de 0,006 dS m<sup>-1</sup>.

#### **3.4.4 Fertilização**

Para garantir que as mudas teriam todos os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, foram realizadas adubações padrão para todos os indivíduos via fertirrigação duas vezes por semana.

Foram utilizados os fertilizantes nitrato de cálcio, monoamôniofosfato (MAP) purificado, uréia, cloreto de potássio e sulfato de magnésio durante o período de crescimento das mudas. Também foi aplicada, na mesma solução de fertirrigação, uma solução de micronutrientes composta por ácido bórico, sulfato de ferro, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre e molibdato de potássio. A solução final constituiu das seguintes concentrações: 488; 155,4; 328,1; 312; 72,2; 98,8, 3; 3,9; 1,2; 0,6; 0,3 e 2,5 mg L<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Zn, Cu, Mo e Fe, respectivamente.

Durante o período de rustificação das mudas, a solução nutritiva consistiu apenas de cloreto de potássio em concentração de 750 mg L<sup>-1</sup> de K.

### **3.5 Desenvolvimento da pesquisa**

Na área de serviço do viveiro, os tubetes foram preenchidos com os substratos umedecidos, com leve compactação manual para que o substrato se acomodasse e, em seguida, o tubete foi completado. Dessa forma os substratos estariam aptos para a semeadura ou estaquia.

Na casa de sombra, as sementes de Embiruçu e Cedro-rosa foram colocadas manualmente em cada tubete, cobertas por uma fina camada de substrato e irrigadas. Os tubetes permaneceram na casa de sombra pelo tempo necessário para a emergência e desenvolvimento inicial de cada espécie, sendo 22 dias para o embiruçu e 35 dias para o cedro-rosa.

Após o crescimento inicial das mudas, foi feito o desbaste deixando somente uma muda por recipiente, as de maior vigor e melhor posicionamento no tubete. Antes de serem levadas para a estufa tipo minitúnel, as mudas foram selecionadas quanto à altura (Tabela 1) para assegurar que todas as repetições, dentro de um

mesmo substrato, tivessem a mesma média dessa variável antes de iniciar os tratamentos com manejo hídrico. Depois as mudas amostrais foram numeradas e as bandejas foram identificadas quanto ao tratamento e a repetição.

**Tabela 1** - Altura (cm) e desvio padrão de mudas de *Cedrella fissilis* e *Pseudobombax grandiflorum* 35 e 22 dias após a semeadura, respectivamente

<b>Espécie</b>	<b>Substrato</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Desvio padrão (cm)</b>
<i>Cedrella fissilis</i>	SC	7,8	1,3
	LBC	8,1	1,7
	LCE	8,2	1,4
	LBC+LCE	8,4	0,7
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	SC	0,5	0,2
	LBC	1,3	1,1
	LCE	2,1	1,1
	LBC+LCE	2,9	1,4

LBC - lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE - lodo + casca de eucalipto; SC - substrato comercial.

Para a produção das mudas de Eucalipto, foram coletadas estacas a partir de cepas de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, conhecido comercialmente como clone I-144, amplamente utilizado em plantios no Brasil. Logo após a coleta, as estacas foram armazenadas em caixas de isopor a fim de manter a sua turgescência.

As estacas foram confeccionadas com aproximadamente 10 cm de altura, com corte reto no topo e em bisel na base, com manutenção do primeiro par de folhas, cuja área foi reduzida pela metade a fim de diminuir a transpiração e induzir o crescimento do sistema radicular. Em seguida, foram estaqueadas quatro bandejas de cada uma das formulações de substratos, totalizando 680 estacas por substrato. Nesta fase, a ocupação das bandejas foi de 100%.

As estacas foram mantidas em casa de vegetação com sistema de nebulização, com lâmina de água diária média de 5 mm parcelada em irrigações de 17 segundos a cada 3 minutos. Após 30 dias, as mudas foram levadas para a área pleno sol do Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais da FCA, em Botucatu, onde tiveram seu espaçamento alterado para 50% de ocupação na bandeja.

Depois de uma semana na área pleno sol para aclimação e avaliação da sobrevivência das mudas, elas foram selecionadas quanto à altura da parte aérea (Tabela 2) para assegurar que todas as repetições, dentro de cada substrato, tivessem a mesma média desta variável. Foram formadas as quatro parcelas (bandejas) com 12 mudas centrais úteis para avaliação, totalizando 48 mudas úteis por tratamento. As mudas amostrais foram identificadas, bem como as bandejas, e levadas aos canteiros tipo minitúnel.

**Tabela 2** - Altura (cm) e desvio padrão de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 30 dias após o estaqueamento

<b>Espécie</b>	<b>Substrato</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Desvio padrão</b>
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	SC	11,0	1,1
	LBC	10,6	1,2
	LCE	10,5	1,1
	LBC+LCE	11,3	0,9

LBC - lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE - lodo + casca de eucalipto; SC - substrato comercial.

Nas estufas tipo minitúnel, as plantas receberam os manejos hídricos diferenciados de 6, 9 e 12 mm para as espécies nativas e de 11, 14 e 17 mm para o eucalipto, parceladas em duas irrigações diárias. As lâminas foram escolhidas tendo como referências pesquisas realizadas anteriormente no próprio viveiro (GARCIA, 2012; DELGADO et al., 2017), considerando também as diferentes demandas por água das espécies.

As mudas foram submetidas aos manejos até que apresentassem, em pelo menos um tratamento, sistema radicular com torrão bem formado, com as raízes bem agregadas ao substrato. Cada espécie possui um tempo de permanência no viveiro, portanto o período de aplicação dos manejos foi diferente para cada uma delas. As mudas de Eucalipto tiveram um ciclo de produção de 104 dias, as mudas de Cedro tiveram ciclo de produção de 151 dias e as mudas de Embiruçu tiveram ciclo de produção de 180 dias.

## **3.6 Avaliações**

### **3.6.1 Análise dos substratos**

Os materiais obtidos a partir da compostagem do lodo de esgoto com bagaço de cana-de-açúcar e casca de eucalipto foram misturados entre si em três diferentes proporções e estas, juntamente com os materiais puros e o substrato comercial, foram passados em peneira de malha de 4 mm de espessura para homogeneizar os materiais e retirar partes muito grandes.

Os seis substratos foram submetidos à análise das características químicas, segundo o método holandês 1:1,5 (v:v) (SONNEVELD et al., 1974, SONNEVELD, 1988), e físicas, segundo metodologia de Carvalho e Silva (1992) descrito por Silva (1998).

A distribuição dos poros é fundamental nas relações entre as fases sólida, líquida e gasosa do meio de cultivo e os processos hídricos relativos ao manejo aplicado em viveiro (RIBEIRO et al., 2007). Por essa razão foram escolhidas para a produção das mudas três misturas de materiais com diferentes valores de porosidade total, sendo eles: lodo + bagaço de cana-de-açúcar (LBC), lodo + casca de eucalipto (LCE) e LCE + LBC (1:2). Foi utilizado como testemunha um substrato comercial (SC) composto por turfa *Sphagnum*, vermiculita e casca de arroz torrefada.

### **3.6.2 Análise das plantas**

#### **3.6.2.1 Sobrevivência das estacas de eucalipto**

Quando as mudas foram levadas para a área pleno sol, foram quantificadas aquelas que estavam mortas e calculada a % de sobrevivência em cada substrato.

#### **3.6.2.2 Características das mudas**

Ao final do ciclo de produção no viveiro, foram mensuradas a altura e o diâmetro das mudas para avaliar o seu desenvolvimento. A altura foi mensurada com uma régua milimetrada, medindo-se da base do colo até a gema apical que deu



origem a última folha de todas as mudas dos tratamentos. O diâmetro do colo (mm) foi medido por meio de um paquímetro digital posicionado horizontalmente no colo da muda em todas as mudas dos tratamentos.

As massas secas da parte aérea e radicular (g) foram obtidas através do seccionamento do caule na altura do colo da muda de 9 mudas por repetição. Os sistemas radiculares foram lavados em água corrente e os sistemas aéreos foram separados em folhas e caules, as partes foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e levadas para estufa a 70°C até que atingissem massa constante. A medida foi obtida em balança eletrônica de precisão de duas casas.

A partir da combinação dos valores das variáveis morfológicas, foram determinados a massa seca total (g) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), segundo a fórmula:

$$IQD = \frac{\text{Massa seca total}}{\frac{\text{Altura da parte aérea}}{\text{Diâmetro do colo}} + \frac{\text{Massa seca da parte aérea}}{\text{Massa seca radicular}}}$$

O sistema radicular das mudas utilizadas para a massa seca radicular também foi submetido a uma avaliação visual da qualidade. Foram atribuídas categorias: “ótimo” para sistemas radiculares sem nenhuma flexibilidade e com raízes novas, em perfeita condição de ir a campo; “bom” para sistemas radiculares formados por torrão com pouca flexibilidade e algumas raízes novas, que podem ser levadas a campo com certo cuidado no momento do plantio; e “ruim” para sistemas radiculares com torrão desagregado, sem condições de serem levadas a campo. As mudas classificadas como “ótimo” e “bom”, foram consideradas aptas ao plantio em campo. Estão indicados na figura 1 exemplos de sistemas radiculares e as categorias atribuídas a eles.

**Figura 1** - Exemplos de sistemas radiculares com categorias ruim (1), bom (2) e ótimo (3).



Para obtenção da área foliar, todas as folhas de nove mudas por repetição foram separadas e inseridas em um integrador de área modelo LI-3100C, da marca LI-COR®.

Foram determinados os teores de macro e micronutrientes dos tecidos vegetais, para isso as plantas utilizadas para a determinação de massa seca foram trituradas em moinho tipo Wiley. As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP. Com os valores de teor e massa seca, foi calculada a quantidade de cada nutriente na planta.

O índice de cor verde foi medido usando o aparelho Soil Plant Analysis Development (SPAD), sendo feitas três medições por folha, na região central do limbo foliar das quatro mudas centrais de cada parcela. A coleta de dados foi ao final do ciclo de produção.

### **3.6.2.3 Fração de lixiviado**

A fração de lixiviado de cada manejo hídrico em cada substrato foi avaliada ao final do ciclo de produção das mudas no viveiro, de acordo com a seguinte equação (Lea-Cox et al., 2001):

$$FL = \frac{V_d}{V_t} \times 100$$

em que:  $V_d$  representa o volume de água drenado pelo fundo do tubete após a irrigação e  $V_t$  representa o volume total de água aplicado (volume de água retido no substrato após a irrigação + volume de água drenado pelo fundo do tubete após a irrigação).

A massa do conjunto tubete + muda foi mensurada antes e depois da irrigação a fim de quantificar o volume de água retido pelo substrato. O volume de água lixiviado dos tubetes foi coletado por sacos plásticos presos aos tubetes com elástico e medido em balança de precisão de duas casas.

Para verificar o efeito dos manejos hídricos sobre a lixiviação dos nutrientes, foi avaliada, ao final do ciclo de produção de cada espécie, a condutividade elétrica média da solução escoada pelo fundo do tubete a partir do dia seguinte à aplicação da solução nutritiva.

Para coletar as soluções lixiviadas, sacos plásticos foram presos com elástico, antes da primeira irrigação diária, em todas as mudas de cada parcela, totalizando 48 mudas por tratamento. Após a segunda irrigação diária, a condutividade elétrica dessas soluções foi medida em um condutivímetro de bancada microprocessado.

### **3.7 Análise estatística**

Para a comparação estatística dos efeitos dos tratamentos aplicados, os dados foram primeiramente submetidos ao teste de Shapiro-Wilk, para verificar a normalidade dos dados.

Posteriormente foi usada a técnica de Análise de Variância (ANOVA) para comparar os efeitos de cada tratamento sobre as variáveis analisadas e, quando o valor de F indicou significância, foi aplicado o teste de Scott-Knot ( $p < 0,05$ ) para comparar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Para comparar o efeito das características físicas e químicas dos substratos sobre o acúmulo de nutrientes nas plantas, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação física e química dos substratos

Os resultados das análises físicas dos substratos demonstraram que há uma relação entre os componentes e as suas características físicas, havendo também variações nessas características de acordo com as proporções das misturas entre os materiais (Tabela 3).

O substrato formado da compostagem do lodo de esgoto com o bagaço de cana (LBC) apresentou a maior macroporosidade e, conseqüentemente, menor retenção de água. Em contraste, o substrato comercial, a base de turfa, embora com porosidade total semelhante ao LBC, apresentou a maior microporosidade e, portanto, maior retenção. Os substratos LCE (lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto) e a mistura LBC+LCE (2:1, v:v), foram semelhantes em relação à retenção de água, embora LCE com menor macroporosidade. Segundo Mota et al. (2008) a distribuição da porosidade em macro e micro permite uma melhor compreensão da dinâmica entre o material e a condução e armazenamento de água durante o processo de produção das mudas.

Com relação à capacidade de drenagem e retenção, pode-se agrupar estes substratos em três grupos: a) o mais retentor, representado pelo substrato comercial; b) o mais drenante, LBC; c) intermediário, substratos LCE e LBC+LCE. Em função destas características físicas distintas, pode existir um manejo hídrico mais adequado para cada grupo.

Houve também diferença entre os valores de pH e CE dos substratos a base de lodo de esgoto quando comparados ao substrato comercial, reflexo da maior fertilidade dos primeiros.

**Tabela 3** - Macroporosidade (macro), microporosidade (micro), porosidade total (PT), retenção de água, densidade seca (DS), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) dos materiais submetidos a avaliação física e química.

	Macro (%)	Micro (%)	PT (%)	Retenção de água (mL)	DS (g cm <sup>-1</sup> )	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )
<b>SC</b>	24,2	59,3	83,5	29,7	0,13	6,30	0,89
<b>LBC</b>	59,9	26,9	86,8	14,0	0,10	4,93	2,93
<b>LCE</b>	32,2	42,7	74,9	22,2	0,19	5,92	3,45
<b>LCE+LBC (1:2)</b>	37,9	40,7	78,7	21,2	0,15	5,37	3,32

SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

É recomendado que o pH de substratos orgânicos utilizados na produção de mudas esteja entre 5,0 e 6,5, para que haja maior disponibilidade de nutrientes. Kämpf (2005) também relaciona diretamente o pH do substrato com as propriedades fisiológicas das plantas. Apenas o substrato contendo bagaço de cana-de-açúcar apresentou valores inadequados de potencial hidrogeniônico, mas que não impediram o desenvolvimento das mudas.

Com relação à condutividade elétrica, espera-se que seja baixa, pois substratos tradicionalmente utilizados não apresentam altas quantidades de nutrientes. Gonçalves et al. (2000) indicam valores abaixo de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  como ideais para substratos florestais, portanto observa-se que os materiais a base de lodo de esgoto utilizados neste experimento não apresentam valores de condutividade elétrica compatíveis com o padrão esperado.

Os altos valores de condutividade elétrica são esperados quando se trabalha com substratos originados de lodo de esgoto devido à alta concentração de nutrientes. A maior fertilidade desses materiais é uma vantagem com relação a outros materiais, pois pode resultar em uma economia significativa no uso de fertilizantes no viveiro (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003).

Os substratos contendo bagaço de cana-de-açúcar apresentaram menores valores de densidade seca, pois ao final do processo de compostagem o material resultante apresentou partículas grandes, conseqüentemente uma estrutura com maior macroporosidade. Por outro lado, o material composto por casca de eucalipto apresentou boa decomposição e partículas mais finas, resultando numa maior agregação entre elas, com menor porcentagem de macroporosidade o que resultou em um material mais denso.

Os resultados das análises químicas de nutrientes disponíveis (Tabela 4) indicam que os materiais a base de lodo de esgoto compostado apresentaram teores de macronutrientes e micronutrientes em geral mais altos que o substrato comercial, principalmente N, Ca, Mg, S e Mn.

Percebe-se que os materiais estruturantes utilizados na compostagem do lodo de esgoto influenciam nas suas características químicas, por exemplo, os substratos que contém casca de eucalipto em sua composição (LCE e LBC+LCE)

apresentaram teores de Ca, Mg, Na, B e Fe superiores aos outros substratos analisados. O substrato composto de lodo com casca de eucalipto ainda apresentou teores de K superiores aos outros substratos. O substrato LBC, por sua vez, apresentou teores de N e Zn superiores a todos os outros materiais.

**Tabela 4** - Características químicas dos substratos (macro e micronutrientes disponíveis) utilizados para a produção de mudas florestais.

<b>Nutrientes (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>N</b>	0,66 c	2,53 a	1,84 b	1,37 b
<b>P</b>	33,33 a	1,33 b	1,33 b	2,10 b
<b>K</b>	93,07 b	55,73 c	159,07 a	99,40 b
<b>Ca</b>	23,67 c	386,67 b	613,33 a	580,00 a
<b>Mg</b>	49,00 c	98,00 b	138,67 a	128,67 a
<b>Na</b>	24,56 c	34,90 bc	50,23 a	43,90 a
<b>S</b>	146,67 b	560,00 a	580,00 a	606,67 a
<b>B</b>	0,07 b	0,06 b	0,15 a	0,15 a
<b>Cu</b>	0,18 a	0,10 b	0,11 b	0,11 b
<b>Fe</b>	1,33 b	0,90 c	2,47 a	3,70 a
<b>Mn</b>	0,51 d	4,21 c	6,07 b	7,67 a
<b>Zn</b>	0,69 c	2,36 a	0,44 d	1,30 b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

O substrato comercial apresentou menores teores de nutrientes, uma característica comum a substratos comerciais. Apenas os teores de P e Cu deste substrato foram superiores a todos os outros materiais e os teores de Fe e Mn foram superiores aos do substrato composto por lodo e bagaço de cana-de-açúcar. O alto teor de P justifica-se pela adição de superfosfato simples ( $P_2O_5$ ) durante o processo de produção do substrato na indústria.

É esperado que os substratos a base de lodo de esgoto contenham mais nutrientes que o substrato comercial, porém é importante compreender a disponibilidade dos nutrientes durante o período de produção das mudas, que pode variar de acordo com a composição do material. Segundo Kratz (2011) e Trazzi (2011), materiais compostos por bio sólidos apresentam nutrientes em suas formas orgânicas, que são gradativamente liberados e proporcionam melhor aproveitamento pelas plantas quando utilizados como substrato.

## 4.2 Experimento 1: *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

### 4.2.1 Sobrevivência das estacas

Observa-se que a mortalidade média das estacas na saída da casa de vegetação em viveiros comerciais, para este clone, é menor que 10%, porém observou-se neste experimento que mesmo no substrato comercial a taxa de mortalidade foi muito alta (Tabela 5). Os valores de mortalidade são muito importantes, pois as perdas de material, de espaço nas estufas e de tempo de produção representam gastos que poderiam ser evitados (SPERANDIO et al., 2011).

**Tabela 5** - Mortalidade das estacas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 30 dias após o estaqueamento.

<b>Substrato</b>	<b>Mortalidade (%)</b>
SC = Substrato comercial	52
LBC = Lodo + bagaço de cana-de-açúcar	67
LCE = Lodo + casca de eucalipto	44
LBC+LCE = LBC + LCE 2:1 (v:v)	59

SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

As estacas mantidas no substrato LCE apresentaram a menor taxa de mortalidade dentre todos os tratamentos, inclusive quando comparadas às estacas mantidas no substrato comercial (SC). O substrato LBC, por sua vez, proporcionou a maior taxa de mortalidade. Esses valores não coincidem com resultados apresentados por outros autores em pesquisas envolvendo o enraizamento de espécies de *Eucalyptus* em diferentes tipos de substratos (BORGES et al., 2011; WENDLING et al., 2000; XAVIER et al., 2001).

De acordo com Higashi et al. (2000) são muitos os fatores que podem afetar o enraizamento das estacas, dentre eles a juvenilidade, tamanho e estado nutricional do broto no momento da coleta; o método de confecção e armazenamento das estacas; bem como as condições de umidade, luminosidade e temperatura da casa de vegetação. Portanto, outros fatores além dos substratos podem ter afetado o enraizamento das estacas.



#### 4.2.2 Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção

A variável altura (Tabela 6) demonstrou ser influenciada tanto pelo substrato quanto pelas lâminas de irrigação aplicadas durante o processo de produção das mudas. Gomes et al. (2000) recomendam limites de altura entre 20 e 35 cm para mudas de *Eucalyptus* produzidas em tubetes de 50 cm<sup>3</sup>. Portanto, apesar das diferenças estatísticas entre os tratamentos, mesmo na lâmina mais baixa (11 mm) todos os substratos proporcionaram o desenvolvimento de mudas com altura considerada apta para ser levada a campo.

**Tabela 6** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
11	25,5 Ba	20,7 Bc	23,7 Bb	25,8 Aa
14	28,5 Aa	22,3 Ac	26,5 Ab	25,1 Ab
17	27,9 Aa	22,8 Ac	27,3 Aa	24,6 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 14,89. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

As plantas mantidas em lâminas de água de 14 e 17 mm apresentaram médias de altura maiores que as da lâmina de 11 mm em todos os substratos, exceto para o substrato LBC+LCE, cujas plantas não apresentaram diferença na altura entre as diferentes lâminas.

Os menores valores de altura foram observados nas mudas produzidas no substrato LBC, diferindo estatisticamente dos outros substratos em todas as lâminas de irrigação. Esse material foi o que apresentou maiores valores de macroporos (59,9%), o que refletiu na sua capacidade de retenção de água e pode ter sido a causa do menor crescimento em altura das mudas. Este substrato também foi o material que apresentou maior concentração de Zn no início do experimento. Pinto et al. (2009), em experimento com *Eucalyptus urophylla*, observou que o aumento da concentração de Zn em solução nutritiva causou decréscimo no crescimento em altura das mudas.

Na lâmina menor (11 mm), as mudas produzidas nos substratos SC e LBC+LCE apresentaram alturas estatisticamente semelhantes e maiores se

comparadas às mudas dos outros substratos na mesma lâmina. Os bons resultados obtidos nesses tratamentos estão diretamente ligados aos valores de macro e microporosidade equilibrados na avaliação física dos substratos.

O substrato LCE proporcionou o desenvolvimento de mudas com melhores resultados de altura apenas nas lâminas 14 e 17 mm, assemelhando-se aos substratos SC e LBC apesar da alta quantidade de microporos encontrada nesse material. Daudt et al. (2007) consideram que os microporos são os que retêm água sob tensão igual ou superior a 100hPa, sendo essa a fração de água mais difícil de ser retirada do material.

Por ser de fácil mensuração, a altura da parte aérea da planta pode ser utilizada como parâmetro para a determinação da qualidade de mudas, porém recomenda-se que os resultados sejam utilizados em concordância com outras características (GOMES et al., 2002). Outra característica morfológica de fácil mensuração que pode ser utilizada para a determinação da qualidade das mudas é o diâmetro.

Assim como a altura, o diâmetro também apresentou influência tanto dos substratos quanto das lâminas de água (Tabela 7). Todos os tratamentos apresentaram médias de diâmetro que possibilitam o plantio das mudas em campo que, segundo Daniel et al. (1997) deve ser maior que 2 mm.

**Tabela 7** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro (mm) do colo de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
<b>11</b>	3,40 Bb	3,04 Bc	3,30 Bb	3,62 Aa
<b>14</b>	3,65 Aa	3,12 Bb	3,54 Aa	3,54 Aa
<b>17</b>	3,57 Aa	3,32 Ab	3,55 Aa	3,44 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 12,95. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

As plantas produzidas no substrato LBC mais uma vez apresentaram as menores médias entre os diferentes substratos, sendo que apenas na lâmina de 17 mm a média de diâmetro das mudas produzidas no substrato LBC foi semelhante às do LBC+LCE. Existe uma estreita ligação entre a porosidade do substrato e a

disponibilidade de ar e água para o sistema radicular das plantas (SIGUINO et al., 2013), nesse caso o excesso de macroporos pode ter influenciado negativamente o desenvolvimento das mudas ao causar um déficit hídrico pouco tempo após as irrigações.

Com relação à massa seca da parte aérea, do sistema radicular e total (Tabela 8), houve influência dos dois fatores, com exceção das mudas do substrato LBC+LCE que não tiveram os valores de massa seca influenciados pelas lâminas de água. As mudas produzidas nos outros substratos apresentaram aumento da massa seca total, associado ao aumento da oferta de água.

**Tabela 8** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca foliar (g), caulinar (g) e radicular (g) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

<b>Massa seca aérea</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>11</b>	2,93 Ba	2,11 Ab	2,50 Bb	2,95 Aa
<b>14</b>	4,01 Aa	2,21 Ac	3,26 Ab	3,07 Ab
<b>17</b>	4,28 Aa	2,58 Ac	3,28 Ab	3,27 Ab
<b>Massa seca radicular</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>11</b>	1,00 Ba	0,91 Ba	0,83 Ca	0,98 Aa
<b>14</b>	1,22 Aa	0,78 Bc	1,05 Bb	1,01 Ab
<b>17</b>	1,39 Aa	1,04 Ab	1,05 Aa	1,15 Ab
<b>Massa seca total</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>11</b>	3,95 Ba	3,05 Bb	3,36 Bb	4,07 Aa
<b>14</b>	5,26 Aa	3,02 Bc	4,33 Ab	4,14 Ab
<b>17</b>	5,46 Aa	3,73 Ad	4,82 Ab	4,46 Ac

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV aérea (%) = 36,19; CV radicular (%) = 31,09; CV total (%) = 35,20. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

As mudas no substrato SC apresentaram as maiores médias de massa seca aérea, radicular e total quando submetidas às lâminas de 14 e 17 mm. A massa seca aérea média das mudas no substrato LBC não foram afetadas pelas lâminas e as massas secas radicular e total foram maiores na lâmina de 17mm. As mudas produzidas no substrato LCE apresentaram as maiores massas secas aérea e total nas lâminas de 14 e 17 mm. A massa seca radicular foi crescente em função das

lâminas. Não houve influência das lâminas nas massas secas das mudas produzidas no substrato LBC+LCE.

Quando submetidas às lâminas de 14 e 17 mm, as mudas produzidas no substrato SC se destacaram das demais, apresentando maiores massas secas aérea, radicular e total, havendo semelhança apenas com as mudas do substrato LBC+LCE na lâmina de 11 mm, nas variáveis massa seca aérea e total. Trigueiro e Guerrini (2003), em experimento com mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em substratos à base de biossólido, também observaram maior incremento em matéria seca das mudas no substrato comercial utilizado como testemunha.

As mudas do substrato SC se destacaram no Índice de Qualidade de Dickson (Tabela 9), obtendo as melhores médias e se assemelhando apenas às mudas do substrato LBC+LCE na lâmina de 11 mm e às do substrato LCE na lâmina de 17 mm. Apesar disso, todos os tratamentos apresentaram IQD maior que 0,2, valor mínimo considerado por Gomes e Paiva (2004) para mudas de *Eucalyptus* spp de boa qualidade.

Observando as médias das plantas de cada substrato separadamente, nota-se que em todos os casos as mudas submetidas a lâminas mais altas (14 e 17 mm) apresentaram índices maiores, com exceção das produzidas no substrato LBC+LCE, que não apresentaram influência das lâminas de água nas médias. Os substratos LBC e LCE proporcionaram as maiores médias apenas na lâmina de 17 mm, diferindo estatisticamente das médias das outras lâminas em ambos os casos. Dentre as mudas que foram submetidas à lâmina de 17 mm, os maiores valores de IQD foram obtidos nos substratos SC e LCE.

**Tabela 9** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no Índice de Qualidade de Dickson em mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
11	0,38 Ba	0,34 Bb	0,34 Cb	0,42 Aa
14	0,49 Aa	0,29 Bc	0,41 Bb	0,41 Ab
17	0,53 Aa	0,39 Ab	0,49 Aa	0,45 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 39,82. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Os valores de IQD obtidos são superiores aos valores obtidos por Silva et al. (2014) em experimento com mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em substratos com diferentes combinações de resíduos orgânicos. A robustez e o equilíbrio de biomassa apresentados pelo IQD são importantes indicadores de qualidade das mudas e quanto maior o valor deste índice, melhor o padrão de qualidade da muda (VIDAL et al., 2006).

Esses dados demonstram a influência da lâmina de água sobre a qualidade das mudas produzidas. A lâmina de 11 mm produziu mudas de boa qualidade, mas que não se igualam àquelas produzidas em lâminas mais altas na maioria dos substratos analisados.

O substrato SC se também proporcionou maior desenvolvimento de área foliar das mudas em todas as lâminas, com exceção das mudas do substrato LBC+LCE na lâmina de 11 mm, que apresentaram resultado semelhante (Tabela 10). Entre os substratos a base de biossólido verificou-se a superioridade das mudas de LCE apenas na lâmina maior. Na lâmina menor as mudas produzidas em LBC+LCE foi superior.

Considerando o efeito das lâminas em cada substrato (coluna), SC e LBC proporcionaram o desenvolvimento de mudas com maiores áreas foliares nas lâminas de 14 e 17 mm. As lâminas de água não influenciaram a área foliar nas mudas produzidas no substrato LCE, e no substrato LBC+LCE tanto a menor quanto a maior lâmina proporcionaram o desenvolvimento de áreas foliares semelhantes.

**Tabela 10** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm<sup>2</sup>) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
11	308,9 Ba	200,7 Bb	284,5 Ab	263,1 Ba
14	417,5 Aa	248,3 Ac	355,4 Ab	332,4 Ab
17	455,5 Aa	256,5 Ac	373,7 Ab	292,3 Bc

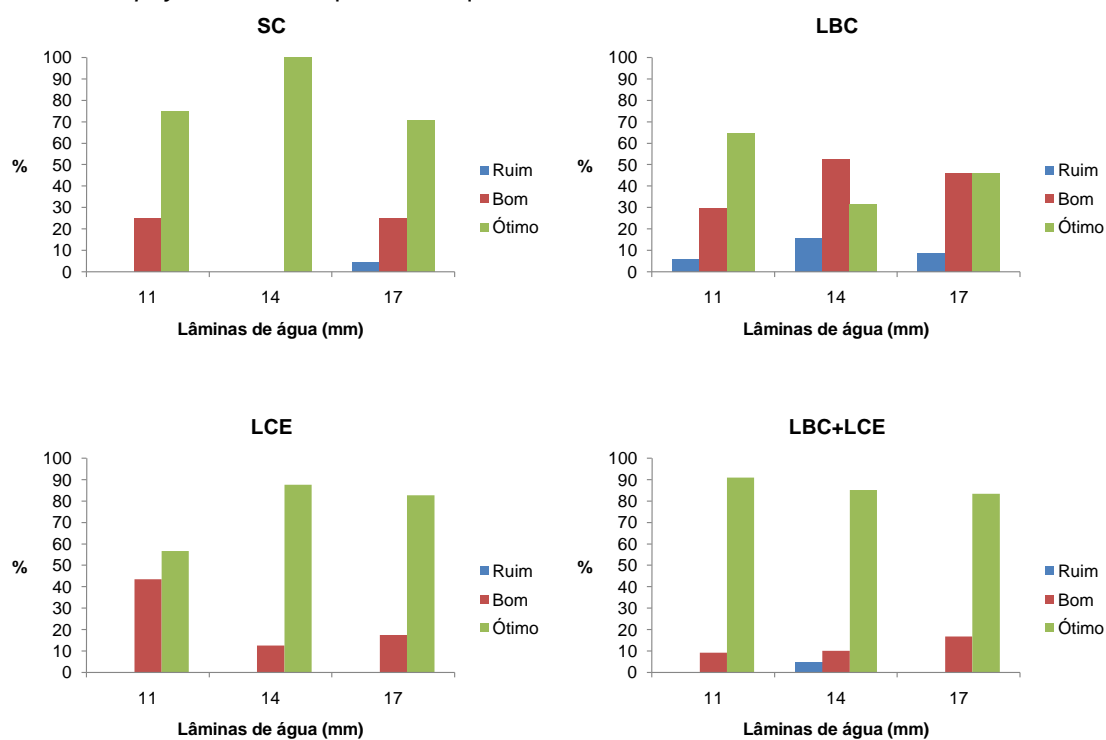
Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 23,29. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Quanto à conformação do sistema radicular (Figura 2), nota-se que mais de 80% das mudas de todos os tratamentos apresentaram notas “bom” ou “ótimo”, o

que significa que estão aptas para o plantio em campo. Apenas o substrato LCE na lâmina de 11 mm e o substrato LBC nas lâminas de 14 e 17 mm apresentaram porcentagem de mudas classificadas como “ótimo” menores que 60%. O substrato SC destacou-se na lâmina de 14 mm por proporcionar o desenvolvimento de 100% das mudas classificadas como “ótimo”.

Segundo Davis e Jacobs (2005), a avaliação da morfologia do sistema radicular de mudas pode ser aplicada como um preditor do sucesso de plantios, sendo mais efetiva que outras características morfológicas comumente utilizadas.

**Figura 2** - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Houve interferência das lâminas de água no índice SPAD (medida indireta do teor de clorofila), sendo que as maiores médias foram observadas na lâmina mais baixa (11 mm) para as mudas de todos os substratos (Tabela 11). Provavelmente esses valores estão relacionados à alta mobilidade do nitrogênio, ocasionando o seu direcionamento para as folhas mais jovens durante o crescimento da planta, que neste caso está associado ao aumento da quantidade de água aplicada às mudas (SENA JÚNIOR et al., 2008).

Com relação a lâmina de 14 mm, não houve diferença significativa entre as mudas dos diferentes substratos. A lâmina de 17 mm, porém, proporcionou a maior média nas mudas do substrato LCE, seguido do substrato SC, e os substratos LBC e LBC+LCE, que não diferiram estatisticamente entre si.

Em experimento com *Eucalyptus urophylla*, Oliveira Júnior et al. (2011) não observaram relação entre os valores obtidos a partir do SPAD com as características morfológicas das mudas, impossibilitando a avaliação da qualidade das mudas a partir desses parâmetros.

**Tabela 11** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na medição indireta de clorofila através de índice SPAD de folhas de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

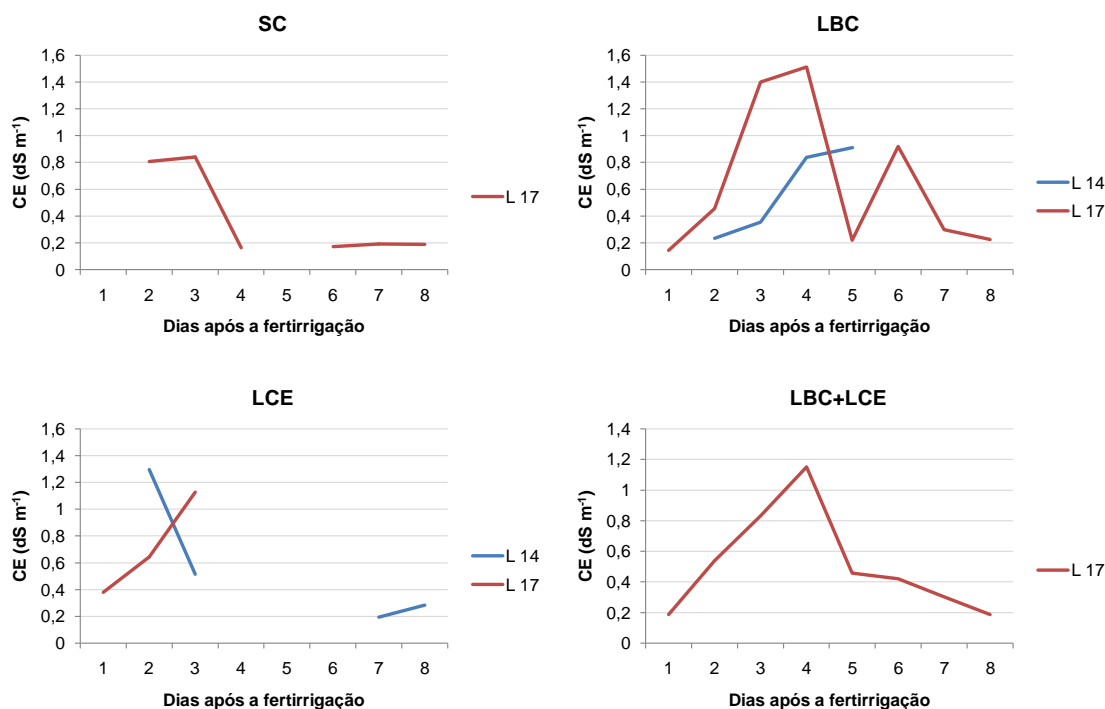
Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
11	44,08 Aa	42,40 Ab	45,07 Aa	42,37 Ab
14	39,95 Ba	40,26 Ba	40,37 Ba	39,92 Ba
17	38,89 Bb	37,79 Cc	40,24 Ba	36,95 Cc

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 5,69. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Os materiais com maior porcentagem de macroporos (LBC e LBC+LCE) apresentaram o mesmo comportamento de perda de nutrientes (Figura 3) que os substratos com menor porcentagem de macroporos (SC e LCE), verificadas pelos valores de condutividade elétrica próximos ao da água entre o quinto e o sexto dia após a fertirrigação.

A lâmina de 11 mm não apresentou quantidade suficiente de lixiviado para a medição da condutividade elétrica devido à baixa quantidade de água aplicada, associado às altas temperaturas nos dias de medição. A mesma situação ocorreu nas lâminas de 14 e 17 mm, representado pelas falhas nas linhas das figuras.

**Figura 3** - Efeito das lâminas de água e dos substratos sobre a condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) do lixiviado em mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*.



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Não houve diferença significativa entre as frações de lixiviado (Tabela 12) dos diferentes substratos nas lâminas de 11 e 14 mm de água. Porém, para a lâmina de 17 mm os substratos LBC, LCE e LBC+LCE apresentaram fração de lixiviado superiores, diferindo das demais lâminas, com destaque para o substrato LBC+LCE que apresentou valor muito elevado.

**Tabela 12** - Efeito das lâminas de irrigação e dos substratos na fração de lixiviado (%) de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* 104 dias após o estaqueamento

Lâminas de água (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
11	1,3 Aa	0,0 Ba	0,0 Ba	2,2 Ba
14	0,0 Aa	0,0 Ba	0,8 Ba	0,0 Ba
17	0,0 Ac	7,2 Ab	7,5 Ab	21,0 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 35,98. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)



Os substratos a base de lodo de esgoto apresentaram comportamentos semelhantes com relação às lâminas de água, com fração de lixiviado superior na lâmina maior. O substrato SC não apresentou influência significativa do fator lâmina de água para a fração de lixiviado.

O acúmulo de nutrientes (Tabela 13) ocorreu de maneira diferente na parte aérea e radicular das mudas. Na parte aérea a correlação entre microporosidade / retenção de água e o acúmulo de nutrientes foi positiva para todos os nutrientes, com exceção de Ca e Mn, que não apresentaram correlação. Esse resultado evidencia a importância da presença de água no substrato para que haja adequada absorção de nutrientes pelas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

**Tabela 13** - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* no viveiro 104 dias após o estabelecimento

Parte aérea							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>**</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>**</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>**</sup>
<b>P</b>	-0,60 <sup>*</sup>	0,81 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>**</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	-0,88 <sup>**</sup>
<b>K</b>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	-0,84 <sup>**</sup>
<b>Ca</b>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>
<b>Mg</b>	-0,60 <sup>*</sup>	0,83 <sup>**</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>*</sup>	-0,98 <sup>**</sup>
<b>S</b>	-0,45 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>*</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>**</sup>
<b>B</b>	-0,48 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,61 <sup>*</sup>
<b>Cu</b>	-0,62 <sup>*</sup>	0,59 <sup>*</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>*</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>
<b>Fe</b>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>**</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>**</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	-0,90 <sup>**</sup>
<b>Mn</b>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>
<b>Zn</b>	0,50 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>**</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,69 <sup>*</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>**</sup>	0,92 <sup>**</sup>
Parte radicular							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,79 <sup>**</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>**</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>**</sup>
<b>P</b>	0,81 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,93 <sup>**</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>**</sup>	0,87 <sup>**</sup>
<b>K</b>	-0,97 <sup>**</sup>	0,99 <sup>**</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>**</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>**</sup>	-0,66 <sup>*</sup>
<b>Ca</b>	-0,67 <sup>*</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	-0,94 <sup>**</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>**</sup>	0,61 <sup>*</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>Mg</b>	-0,61 <sup>*</sup>	0,84 <sup>**</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>**</sup>	-0,98 <sup>**</sup>
<b>S</b>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	-0,47 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>**</sup>
<b>B</b>	-0,48 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>**</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b>Cu</b>	0,87 <sup>**</sup>	-0,97 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,96 <sup>**</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,96 <sup>**</sup>	0,82 <sup>**</sup>
<b>Fe</b>	0,92 <sup>**</sup>	-0,95 <sup>**</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,95 <sup>**</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,99 <sup>**</sup>	0,66 <sup>*</sup>
<b>Mn</b>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,86 <sup>**</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>**</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
<b>Zn</b>	0,40 <sup>ns</sup>	-0,66 <sup>*</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>*</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>*</sup>	0,97 <sup>**</sup>

\*\* e \* = significativo ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) e 5% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade, respectivamente; e<sup>ns</sup> = não significativo. Macro = macroporosidade; micro = microporosidade; PT = porosidade total; RA = retenção de água; DS = densidade seca; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica

Por outro lado, a correlação na parte radicular das plantas demonstrou comportamentos distintos entre os nutrientes com relação às características físicas dos substratos. Os nutrientes P, Cu e Fe, por exemplo, apresentaram correlação positiva com macroporosidade e condutividade elétrica, enquanto K e Mg apresentaram correlação negativa com estas mesmas características.

Com relação à produção de mudas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, o enraizamento das estacas foi muito inferior ao observado em viveiros comerciais e outras pesquisas com o mesmo clone. Porém, esse resultado não tem relação com os substratos utilizados, pois mesmo o substrato testemunha apresentou alta mortalidade. Novas pesquisas devem ser desenvolvidas a fim de sanar os problemas relacionados ao enraizamento de estacas em substratos orgânicos

Uma vez enraizadas as estacas, o desenvolvimento das mudas foi compatível nos substratos comercial, lodo de esgoto compostado com cana-de-açúcar (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE) na lâmina de 14 mm e o substrato LBC+LCE na lâmina de 11 mm.

### 4.3 Experimento 2: *Cedrella fissilis*

#### 4.3.1 Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção

A altura das mudas (Tabela 14) foi influenciada pelo manejo hídrico e pelos substratos, sendo que o substrato LCE proporcionou as maiores médias em todas as lâminas de água, assemelhando-se aos substratos LBC e LBC+LCE apenas na lâmina de 6 mm. Os resultados apresentados pelas mudas produzidas no substrato LCE provavelmente se devem às características químicas e físicas deste material, que permitiram melhor retenção de água associada à boa aeração e, conseqüentemente, melhor aproveitamento dos nutrientes e crescimento das plantas.

**Tabela 14** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a sementeira

Lâminas de Irrigação (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	14,7 Ab	15,8 Aa	16,7 Ba	15,9 Aa
9	14,9 Ab	15,1 Bb	16,3 Ba	15,2 Bb
12	14,9 Ac	14,8 Bc	17,8 Aa	16,7 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 13,71. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Trigueiro e Guerrini (2003), em experimento com mudas de *Eucalyptus*, obtiveram mudas mais altas nos tratamentos compostos por biossólido e atribuem esses resultados aos altos teores de N e P apresentados por esse material. Os resultados das análises químicas dos materiais usados neste experimento mostram que os materiais compostos por lodo de esgoto apresentaram maiores teores de nutrientes que o substrato comercial.

As mudas produzidas no substrato SC apresentaram as menores médias de altura em todos os manejos hídricos, apesar de não haver diferença estatística com relação aos substratos LBC e LBC+LCE na lâmina de 9 mm e com o substrato LBC na lâmina de 12 mm.

Apesar da grande porcentagem de macroporos apresentada pelo substrato LBC, as mudas apresentaram maior média de altura na lâmina mais baixa (6 mm), diferenciando-se das médias de altura nas outras lâminas de água. A altura de parte

aérea é muito utilizada como parâmetro de qualidade de mudas por ser de fácil mensuração e um método não destrutivo (GOMES et al., 2003), porém deve-se ter atenção pois mudas altas não necessariamente terão o seu desenvolvimento pós-plantio assegurado.

O diâmetro também foi influenciado pelos fatores lâmina de água e substrato (Tabela 15). O diâmetro do colo considerado adequado para mudas florestais varia entre 5 e 10 mm (GONÇALVES et al., 2000), sendo assim, todos os substratos apresentaram médias de diâmetro satisfatórias. Souza et al. (2006) relacionou o maior diâmetro das mudas com a sobrevivência e o crescimento em campo, pois desta variável depende a capacidade de formação e desenvolvimento do sistema radicular.

As plantas dos substratos SC e LCE apresentaram médias de diâmetro semelhantes entre as lâminas de 9 e de 12 mm, porém as plantas do substrato LBC+LCE apresentaram maior diâmetro do colo apenas na lâmina mais alta (12 mm). O diâmetro das mudas produzidas no LBC não foi influenciado pela lâmina de irrigação.

As mudas do substrato SC apresentaram os maiores diâmetros em todas as lâminas. As mudas produzidas no substrato LCE se igualaram às do SC nas lâminas de 9 e 12mm e as do substrato LBC na lâmina de 6mm.

**Tabela 15** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro (mm) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Lâminas de Irrigação (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	9,09 Ba	8,95 Aa	8,39 Bb	8,22 Cb
9	10,29 Aa	9,49 Ab	10,17 Aa	9,01 Bc
12	9,83 Aa	9,25 Ab	10,06 Aa	9,54 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 12,38. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Cunha et al. (2005) destacam a importância de mudas com alto diâmetro de colo para que estas se mantenham eretas após o plantio, considerando-se que o tombamento das mudas pode comprometer a sobrevivência em campo e a qualidade do produto final do plantio. A correlação com o índice de qualidade de

Dickson também faz do diâmetro do colo importante indicador de qualidade das mudas (BINOTTO et al., 2010).

A área foliar das mudas do cedro (Tabela 16) foi maior nas mudas produzidas no substrato LCE, apresentando as maiores médias entre os substratos em todas as lâminas, apenas sendo estatisticamente semelhante às mudas do substrato SC na lâmina de 9 mm. Os outros substratos proporcionaram o desenvolvimento de mudas com médias de área foliar semelhantes em todos os tratamentos, com exceção do substrato LBC na lâmina de 12mm, cujas mudas apresentaram média significativamente menor que os outros tratamentos.

**Tabela 16** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm<sup>2</sup>) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Lâminas de Irrigação (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	346,2 Bb	344,9 Ab	423,9 Aa	357,2 Ab
9	445,8 Aa	337,0 Ab	470,5 Aa	326,6 Ab
12	339,8 Bb	289,8 Bc	445,6 Aa	364,0 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 23,41. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

A maior área foliar implica em maior potencial fotossintético em condições de campo favoráveis, proporcionando melhor desenvolvimento das plantas. Porém, condições desfavoráveis podem prejudicar o desenvolvimento e estabelecimento em campo das plantas com grande área foliar, devido à maior área de transpiração desses indivíduos, o que dificulta o suprimento de água por parte do sistema radicular (GROSSNICKLE, 2005).

As características morfológicas massa seca aérea, massa seca radicular e massa seca total estão apresentadas na tabela 17. Pode-se observar que as mudas produzidas na lâmina de 6 mm apresentaram massas inferiores em todos os substratos, com exceção do substrato LBC para massa seca radicular, a qual não apresentou influência da lâmina de água.

A lâmina intermediária (9 mm) foi suficiente para o crescimento da muda em todos os substratos com exceção do LBC+LCE, cujas mudas responderam melhor à maior lâmina (12 mm). Este resultado não apresenta relação clara com as

características físicas dos substratos, já que os substratos LBC+LCE e LCE são semelhantes na retenção de água. Já o substrato LBC, que apresenta a maior diferença física entre os substratos (maior macroporosidade e menor retenção de água) respondeu à lâmina de irrigação de forma semelhante ao SC e LCE.

Considerando o efeito dos substratos em cada lâmina (leitura na linha), observa-se que as médias de massa seca aérea foram maiores nas mudas do substrato LCE, independente da lâmina. Quanto à massa seca radicular, não houve influência dos substratos quando foi aplicada a maior lâmina de irrigação, assim como na menor lâmina (6mm) para a variável massa seca total.

**Tabela 17** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca aérea (g), radicular (g) e total (g) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

<b>Massa seca aérea</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	2,40 Cb	2,28 Bb	2,70 Ba	2,28 Cb
<b>9</b>	3,77 Aa	2,98 Ab	3,71 Aa	2,76 Bb
<b>12</b>	3,13 Bb	2,68 Ac	3,71 Aa	3,29 Ab
<b>Massa seca radicular</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	1,35 Bb	1,68 Aa	1,40 Bb	1,47 Bb
<b>9</b>	1,87 Aa	1,72 Ab	2,01 Aa	1,57 Bb
<b>12</b>	1,91 Aa	1,77 Aa	1,80 Aa	2,01 Aa
<b>Massa seca total</b>				
<b>Lâminas de água (mm)</b>	<b>Substratos</b>			
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	3,82 Ca	3,96 Ba	4,10 Ba	3,75 Ca
<b>9</b>	5,64 Aa	4,69 Ab	5,71 Aa	4,33 Bb
<b>12</b>	5,04 Ba	4,45 Ab	5,51 Aa	5,30 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV aérea (%) = 25,89; CV radicular (%) = 29,57; CV total (%) = 24,29. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Mudas com condições de desenvolverem a parte aérea e radicular de maneira equilibrada resultam em mudas com melhor qualidade, que estão mais preparadas para suportar as condições adversas de campo e que provavelmente se estabelecerão rapidamente (ECHER et al., 2007).

O Índice de Qualidade de Dickson (Tabela 18) apresentou pouca influência dos substratos, com diferenças apenas para os substratos LBC e LBC+LCE que, na lâmina de 9 mm, proporcionaram o desenvolvimento de mudas com médias significativamente inferiores às médias dos outros substratos. De acordo com Gomes et al. (2002), altos valores de IQD representam mudas com melhor qualidade e capacidade de sobreviver após o plantio em campo.

**Tabela 18** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Lâminas de Irrigação (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	1,18 Ba	1,27 Aa	1,06 Ca	1,06 Ca
9	1,68 Aa	1,42 Ab	1,70 Aa	1,28 Bb
12	1,62 Aa	1,44 Aa	1,44 Ba	1,57 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 32,21. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

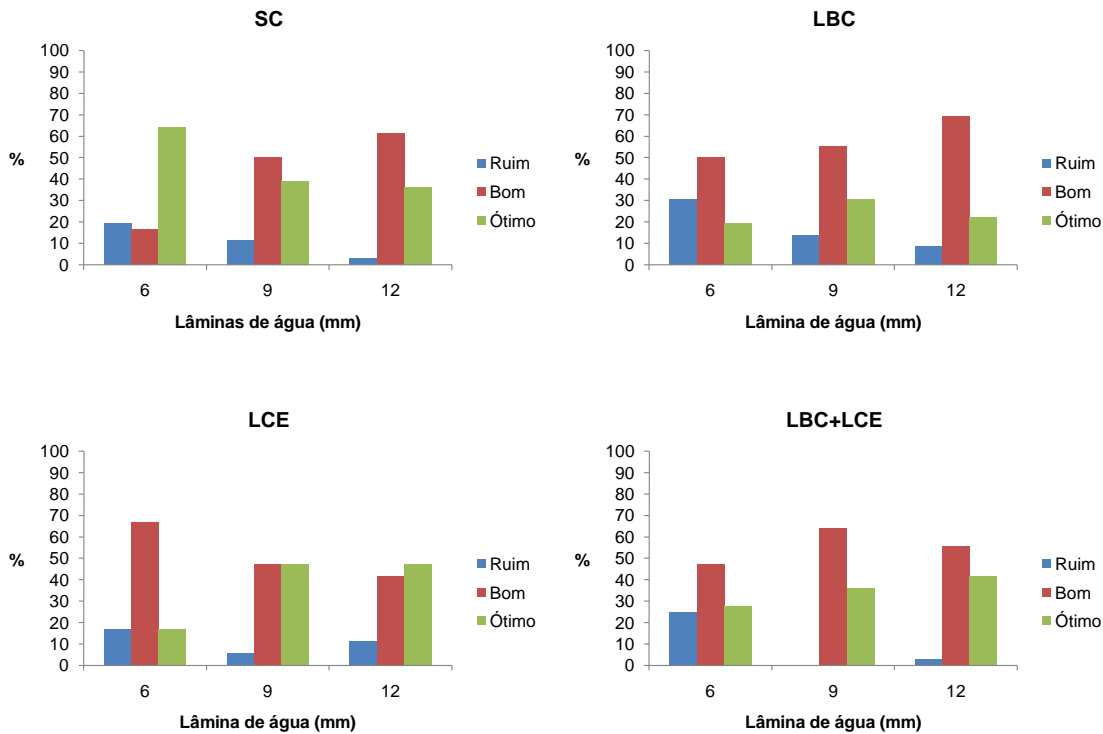
Pode-se observar que as maiores médias de IQD ocorreram nas mudas submetidas às lâminas de 9 e 12 mm, com exceção das mudas do substrato LBC, que não apresentaram diferença estatística entre as médias de IQD em todas as lâminas. Diferentemente das demais mudas, aquelas produzidas no substrato LCE apresentaram a maior média de IQD na lâmina de 9 mm.

Além da massa seca radicular, a conformação do sistema radicular (Figura 4) é de grande importância para que as mudas sejam capazes de absorver água e nutrientes, evitar o estresse hídrico (ALMEIDA et al., 2005) e, assim, garantir o estabelecimento e desenvolvimento em campo (LUIS et al., 2009). Além disso, a agregação do sistema radicular ao substrato representa maior facilidade de retirada das mudas dos tubetes no momento do plantio (WENDLING et al., 2007), resultando em melhorias significativas neste processo.

Houve uma variação na proporção de mudas com sistema radicular “ruim”, “bom” e “ótimo” entre os tratamentos. Independente do substrato, a lâmina 6 mm possibilitou o desenvolvimento de mudas com maiores porcentagens de sistemas radiculares inaptos para o plantio (conceito “ruim”), com destaque para o substrato LBC que teve a maior % de mudas ruins (31%). Este resultado pode estar relacionado à baixa capacidade de retenção de água do material, associado aos

altos valores de área foliar das plantas e sua distribuição com relação ao sistema de irrigação, que pode ter prejudicado o desenvolvimento radicular das plantas. Importante destacar que o substrato LBC teve massa seca radicular semelhante aos demais substratos, o que demonstra a importância de ter uma avaliação qualitativa quando se refere ao sistema radicular.

**Figura 4** - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Destaca-se nessa variável o substrato SC que, quando submetido à lâmina de 6 mm, propiciou o desenvolvimento de mais de 60% de mudas com qualidade ótima, enquanto a maior porcentagem das mudas dos outros substratos na mesma lâmina teve o sistema radicular classificado como “bom”. Porém, há de se considerar que nesta lâmina também houve alta porcentagem de mudas inaptas ao plantio (quase 20% de mudas com sistema radicular “ruim”). O substrato LBC+LCE também se destacou ao apresentar 100% de mudas aptas para plantio na lâmina de 9 mm, ainda que menos de 40% delas tenham apresentado sistema radicular classificado como ótimo.



Quanto à medição indireta de clorofila das mudas através do índice SPAD (Tabela 19) não houve interferência das lâminas de água quando produzidas no substrato SC. As mudas do substrato LBC apresentaram decréscimo dos valores de SPAD na lâmina de 12 mm em comparação com as lâminas menores e as mudas dos substratos LCE e LBC+LCE apresentaram decréscimo dos valores nas lâminas de 9 e 12 mm com relação à lâmina de 6 mm.

**Tabela 19** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no índice de coloração verde (SPAD) em mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Lâminas de Irrigação (mm)	Substratos			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	32,9 Ac	36,1 Ab	38,7 Aa	37,9 Aa
9	34,2 Aa	35,6 Aa	35,1 Ba	34,5 Ba
12	34,0 Aa	34,1 Ba	35,0 Ba	34,4 Ba

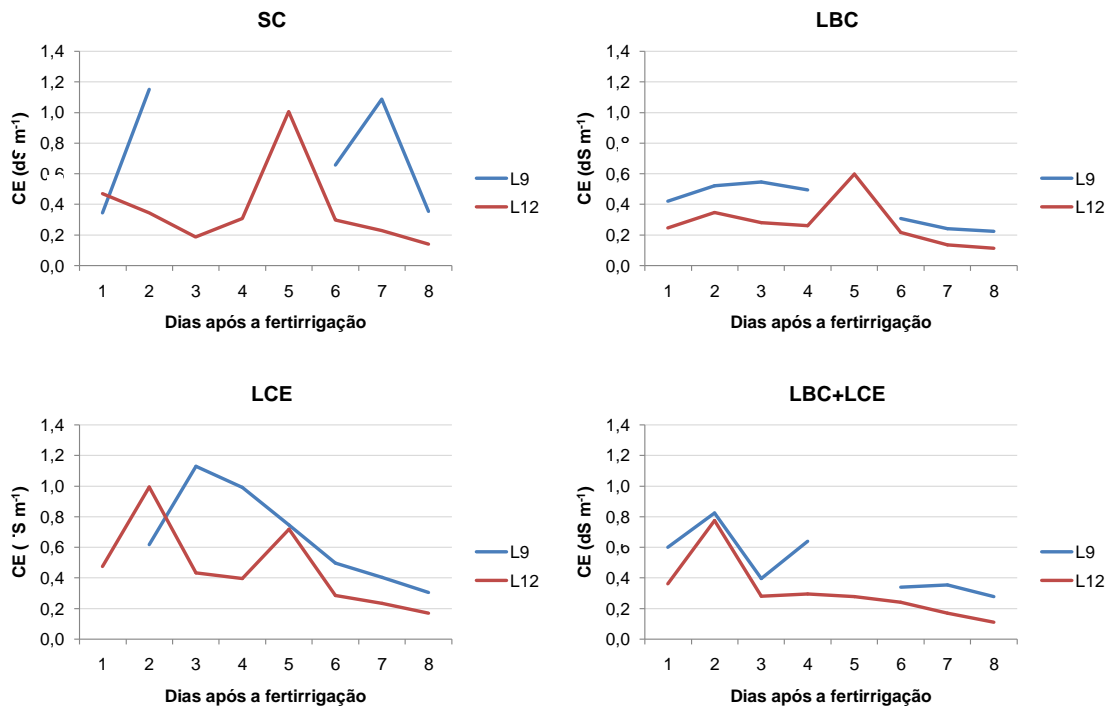
Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 10,07. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Comparando-se os substratos, houve diferença apenas na lâmina de 6 mm, na qual as mudas do substrato LBC apresentaram média significativamente inferior às dos substratos LCE e LBC+LCE e média significativamente superior ao substrato SC, cujas mudas apresentaram o menor índice SPAD dentre todos os tratamentos.

As curvas de perda de nutrientes, mensuradas através da condutividade elétrica do lixiviado dos tubetes, estão descritas na figura 5, na qual nota-se que houve influência das características físicas dos substratos, bem como das lâminas de água.

Os materiais com maior porcentagem de macroporos (LBC e LBC+LCE) apresentaram perdas mais rápidas de nutrientes, que podem ser verificadas através dos valores de condutividade elétrica próximos ao da água ( $0,06 \text{ dS m}^{-1}$ ) no sétimo dia após a fertirrigação. Em contrapartida, os materiais com maiores porcentagens de microporos (SC e LCE) apresentaram perdas menos acentuadas de nutrientes, não atingindo a condutividade elétrica da água nem ao oitavo dia após a fertirrigação. Observa-se também que, com exceção do substrato LBC+LCE, todos os materiais apresentaram pico de lixiviação de nutrientes no quinto dia após a fertirrigação.

**Figura 5** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na condutividade elétrica do lixiviado ( $\text{dS m}^{-1}$ ) de mudas de *Cedrella fissilis*.



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

A lâmina de 6 mm não foi apresentada na figura pois a quantidade de lixiviado dos tubetes submetidos a esse manejo hídrico não foi suficiente para a medição da condutividade elétrica. As falhas nas linhas da lâmina de 9 mm dos gráficos ocorreram devido ao baixo acúmulo de lixiviado nos tratamentos, o que impediu a medição da condutividade elétrica nesses dias.

As porcentagens de fração de lixiviado (Tabela 20) aumentaram conforme o aumento da quantidade de água aplicada e os substratos com lodo de esgoto em sua composição (LBC, LCE e LBC+LCE) apresentaram porcentagens estatisticamente menores que a apresentada pelo substrato comercial (SC) na lâmina de 12 mm.

A aplicação de grandes volumes de água pode causar a lixiviação dos nutrientes, pois o substrato, apesar de suas características físicas, não é capaz de reter toda a água aplicada em curto período de tempo (BEESON Jr., 2006). Por outro lado, a redução da fração de lixiviado nas lâminas de água mais baixas (6 e 9 mm) não significa maior eficiência da irrigação.

**Tabela 20** - Efeito das lâminas de irrigação e dos substratos na fração de lixiviado (%) de mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Lâmina de água (mm)	Substrato			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	0,0 Ca	2,3 Ba	5,9 Ba	1,9 Ba
9	14,6 Ba	21,2 Aa	8,1 Ab	0,0 Bb
12	42,0 Aa	24,2 Ab	12,8 Ab	15,8 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 26,15. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Em experimento com produção de mudas de *Aspidosperma polyneuron*, Silva e Silva (2015) concluíram que as mudas submetidas à lâmina bruta de 8 mm por dia apresentaram déficit hídrico possivelmente porque a pouca quantidade de água aplicada não foi capaz de umedecer as camadas inferiores do substrato no tubete.

Com relação ao acúmulo de nutrientes (Tabela 21) na parte radicular das mudas de cedro, houve correlação positiva entre microporosidade e a quantidade de P, K e Mg, enquanto Fe e Zn apresentaram correlação negativa com a mesma propriedade física. Houve também correlação positiva entre a porosidade total e a quantidade de B, além de correlação negativa entre esta propriedade e a quantidade de N, Ca, S e Cu na parte radicular das mudas.

O acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de cedro correlaciona-se negativamente com a macroporosidade e positivamente com a microporosidade, a retenção de água e o pH dos substratos. Apenas o acúmulo de Ca na parte aérea das mudas não se correlaciona com as propriedades físicas dos materiais citadas anteriormente e o acúmulo de S não se correlaciona com a microporosidade e a retenção de água.

O aumento da macroporosidade dos substratos diminui a sua retenção de água, explicando as correlações opostas entre estas propriedades dos materiais e o acúmulo de nutrientes. Dessa forma, a água retida nos substratos, bem como o íntimo contato entre as raízes e as partículas do substrato, favorecem o contato dos íons com o sistema radicular e, conseqüentemente, a sua absorção pelas plantas e maior acúmulo na biomassa seca (TAIZ e ZEIGER, 2013).

**Tabela 21** - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular das mudas de *Cedrella fissilis* 151 dias após a semeadura

Parte aérea							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	-0,90 **	0,75 **	-0,74 **	0,77 **	0,80 **	0,85 **	-0,17 <sup>ns</sup>
<b>P</b>	-0,94 **	0,87 **	-0,54 <sup>ns</sup>	0,89 **	0,63 *	0,95 **	-0,43 <sup>ns</sup>
<b>K</b>	-0,92 **	0,81 **	-0,64 *	0,83 **	0,72 **	0,90 **	-0,30 <sup>ns</sup>
<b>Ca</b>	-0,49 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,98 **	0,22 <sup>ns</sup>	0,96 **	0,33 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
<b>Mg</b>	-0,77 **	0,93 **	0,12 <sup>ns</sup>	0,92 **	-0,02 <sup>ns</sup>	0,86 **	-0,92 **
<b>S</b>	-0,77 **	0,55 <sup>ns</sup>	-0,86 **	0,58 <sup>ns</sup>	0,91 **	0,70 *	0,08 <sup>ns</sup>
<b>B</b>	-0,91 **	0,97 **	-0,21 <sup>ns</sup>	0,97 **	0,31 <sup>ns</sup>	0,97 **	-0,74 **
<b>Cu</b>	-0,81 **	0,78 **	-0,40 <sup>ns</sup>	0,78 **	0,52 <sup>ns</sup>	0,90 **	-0,46 <sup>ns</sup>
<b>Fe</b>	-0,71 **	0,88 **	0,16 <sup>ns</sup>	0,86 **	-0,03 <sup>ns</sup>	0,84 **	-0,92 **
<b>Mn</b>	-0,90 **	0,99 **	-0,12 <sup>ns</sup>	0,99 **	0,20 <sup>ns</sup>	0,91 **	-0,79 **
<b>Zn</b>	0,92 **	-0,98 **	0,23 <sup>ns</sup>	-0,98 **	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,87 **	0,69 *

Parte radicular							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,53 *	-0,09 <sup>ns</sup>	0,62 *	0,22 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
<b>P</b>	-0,71 **	0,86 **	0,10 <sup>ns</sup>	0,84 **	0,04 <sup>ns</sup>	0,88 **	-0,87 **
<b>K</b>	-0,59 *	0,80 **	0,31 <sup>ns</sup>	0,77 **	-0,18 <sup>ns</sup>	0,76 **	-0,96 **
<b>Ca</b>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,87 **	-0,18 <sup>ns</sup>	0,86 **	0,02 <sup>ns</sup>	0,76 **
<b>Mg</b>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,79 **	0,34 <sup>ns</sup>	0,76 **	-0,21 <sup>ns</sup>	0,74 **	-0,97 **
<b>S</b>	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,62 *	-0,02 <sup>ns</sup>	0,71 **	0,27 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
<b>B</b>	0,49 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,80 **	-0,30 <sup>ns</sup>	-0,71 **	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>
<b>Cu</b>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,73 **	-0,34 <sup>ns</sup>	0,73 **	-0,10 <sup>ns</sup>	0,79 **
<b>Fe</b>	0,65 **	-0,80 **	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,78 **	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,85 **	0,85 **
<b>Mn</b>	0,35 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,60 *	0,32 <sup>ns</sup>
<b>Zn</b>	0,99 **	-0,94 **	0,50 <sup>ns</sup>	-0,95 **	-0,58 <sup>ns</sup>	-0,98 **	0,51 <sup>ns</sup>

\*\* e \* = significativo ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) e 5% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade, respectivamente; e <sup>ns</sup> = não significativo. Macro = macroporosidade; micro = microporosidade; PT = porosidade total; RA = retenção de água; DS = densidade seca; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica

Observa-se que o substrato composto pela mistura de lodo compostado com bagaço de cana e lodo compostado com casca de eucalipto (LBC+LCE) proporcionou o melhor desenvolvimento das mudas de *Cedrella fissilis* sob lâmina de 9 mm, enquanto os outros substratos proporcionaram o melhor desenvolvimento das mudas sob lâmina de 12 mm.

#### 4.4 Experimento 3: *Pseudobombax grandiflorum*

##### 4.4.1 Avaliação das mudas ao final do ciclo de produção

Os valores encontrados neste estudo estão abaixo do indicado por Gonçalves et al. (2000) para mudas de espécies nativas (20 a 35 cm). Ressalta-se que a altura das mudas (Tabela 22), obtida a partir da base da planta até a gema apical, nesse caso não representa a real altura das mudas, pois esta espécie apresenta pecíolos longos, que ultrapassam a altura da gema apical.

Sendo assim, o ciclo de produção para esta espécie considerou a altura das folhas, pois percebeu-se que as mudas cessaram o seu crescimento devido ao stress ocasionado pelo pouco espaço disponível para o crescimento do sistema radicular. Valores de altura abaixo de 20 cm foram encontrados também por Caldeira et al. (2012a) na produção de mudas de *Tectona grandis*, indicando a importância de considerar as particularidades de cada espécie no seu desenvolvimento inicial.

**Tabela 22** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na altura (cm) de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Lâmina de água (mm)	Substrato			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	4,6 Aa	4,2 Ba	4,1 Ba	4,8 Ba
9	4,9 Ab	4,3 Bb	4,8 Bb	5,8 Aa
12	4,6 Ab	6,3 Aa	5,8 Aa	6,3 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 38,68. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Todos os substratos possibilitaram o desenvolvimento de mudas com médias de altura semelhantes na lâmina de água mais baixa (6 mm), que provavelmente não foi suficiente para suprir todas as necessidades das plantas mesmo nos substratos com maior retenção de água. Na lâmina de 9 mm, as mudas do substrato LBC+LCE apresentaram a maior média em altura e na de 12 mm as mudas de todos os substratos a base de lodo de esgoto foram semelhantes e superiores ao comercial.

O substrato SC proporcionou mudas com médias de altura semelhantes em todas as lâminas de água, diferentemente dos demais substratos, os quais produziram mudas com maior altura na maior lâmina de irrigação.

O grande investimento desta espécie em área foliar no início do seu desenvolvimento em viveiro aliado à sua arquitetura foliar, que dificulta a chegada da água ao substrato, pode ter prejudicado o crescimento em altura, indicando que para esta espécie a lâmina de irrigação deva ser maior que a usada nesta pesquisa.

As diferenças nas médias de diâmetro do colo (Tabela 23) das mudas de embiruçu apresentaram comportamento próximo ao observado nas médias de altura, sendo que para a lâmina mais baixa (6 mm) as mudas de todos os substratos apresentaram médias semelhantes. Na lâmina de 9 mm, o substrato LBC+LCE apresentou mudas com a maior média de diâmetro, diferindo estatisticamente da média apresentada pelas mudas dos substratos SC e LCE, que foram semelhantes entre si. As mudas do substrato LBC apresentaram a menor média entre os substratos para a lâmina em questão. Na maior lâmina (12mm) as mudas de todos os substratos foram semelhantes.

Os substratos LCE e LBC+LCE proporcionaram o desenvolvimento de mudas com médias de diâmetro semelhantes nas lâminas de 9 mm e de 12 mm. O substrato LBC teve mudas com média superior na maior lâmina e o diâmetro das mudas produzidas em SC não foi influenciado pelas lâminas de água.

**Tabela 23** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no diâmetro do colo (mm) de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Lâmina de água (mm)	Substrato			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	4,90 Aa	4,41 Ba	4,46 Ba	4,87 Ba
9	5,10 Ab	4,47 Bc	5,07 Ab	5,65 Aa
12	5,14 Aa	5,53 Aa	5,56 Aa	5,70 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 25,76. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Gonçalves et al. (2000) determinam que o diâmetro entre 5 e 10 mm é o mais adequado para mudas florestais de alta qualidade. Sendo assim, as mudas

conduzidas em manejo de irrigação de 12 mm apresentam-se dentro dos padrões esperados pelos dois autores para essa variável morfológica.

Os resultados de área foliar também demonstram a necessidade de manejo hídrico com maior oferta de água para esta espécie (Tabela 24), pois as maiores médias foram observadas na lâmina maior. Observa-se que apenas nas mudas do substrato SC não houve influência do manejo hídrico para essa variável, enquanto nos outros substratos as médias aumentaram à medida que aumentou a oferta de água para as plantas.

**Tabela 24** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na área foliar (cm<sup>2</sup>) de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Lâmina de água (mm)	Substrato			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	165,65 Aa	141,84 Ba	107,59 Bb	120,09 Bb
9	183,35 Aa	161,17 Ba	135,48 Bb	177,79 Aa
12	154,07 Ab	205,28 Aa	183,10 Aa	186,94 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 23,41. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Silva e Silva (2015), em experimento com mudas de *Aspidosperma polyneuron* irrigadas via microaspersão, observaram que a chegada de água ao substrato estava associada ao nível de desenvolvimento da parte aérea.

As mudas produzidas no substrato LBC e LCE apresentaram médias de área foliar semelhantes nas lâminas de 6 e 9 mm, sendo ambas inferiores à média apresentada pelas mudas produzidas na lâmina de 12 mm. No substrato LBC+LCE, porém, pode-se observar um aumento significativo da área foliar entre as mudas submetidas às lâminas de 6 e 9 mm, e esta última semelhante à de 12 mm.

Com relação às massas secas, os substratos proporcionaram o desenvolvimento de mudas com padrões de comportamento distintos entre as diferentes variáveis, como pode ser observado na Tabela 25. Apesar de ser método destrutivo, a massa seca é citada por vários autores como característica importante para a determinação da qualidade, pois indica a rusticidade das mudas (CALDEIRA et al., 2008) e, conseqüentemente, a sua capacidade de sobrevivência em campo.

Apenas as mudas do substrato SC não apresentaram diferenças entre as médias de massa seca aérea nas três lâminas, enquanto os substratos LBC e LCE apresentaram as maiores médias na lâmina de 12 mm. As mudas do substrato LBC+LCE apresentaram a maior média de massa seca aérea na lâmina de 9 mm, sendo esta a maior média dentre todos os tratamentos. O substrato LCE na lâmina de 12 mm proporcionou a maior média de massa seca radicular dentre todos os tratamentos, não havendo diferença se comparado com as mudas do substrato LBC+LCE na mesma lâmina.

**Tabela 25** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na massa seca aérea (g), radicular (g) e total (g) de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

<b>Massa seca aérea</b>				
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	0,94 Aa	0,99 Ba	0,91 Ba	0,93 Ba
<b>9</b>	1,31 Ab	1,11 Bb	0,81 Bc	1,83 Aa
<b>12</b>	1,14 Aa	1,60 Aa	1,38 Aa	1,20 Ba
<b>Massa seca radicular</b>				
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	3,01 Cb	2,71 Cb	3,03 Cb	3,85 Ba
<b>9</b>	4,81 Aa	3,36 Bb	4,39 Ba	4,91 Aa
<b>12</b>	4,02 Bb	4,26 Ab	5,55 Aa	5,44 Aa
<b>Massa seca total</b>				
	<b>SC</b>	<b>LBC</b>	<b>LCE</b>	<b>LBC+LCE</b>
<b>6</b>	4,18 Bb	4,00 Bb	4,11 Cb	5,30 Ba
<b>9</b>	6,09 Aa	4,70 Bb	5,42 Bb	6,31 Aa
<b>12</b>	5,35 Ab	6,25 Aa	6,72 Aa	6,70 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); CV aéreo (%) = 37,08; CV radicular (%) = 31,34; CV total (%) = 36,61. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

Observa-se que, diferentemente das outras espécies utilizadas nesta pesquisa, o Embiruçu apresenta massa seca radicular superior à massa seca da parte aérea. Mudas com maiores valores de massa seca radicular são consideradas, por diversos autores, as mais aptas ao estabelecimento e crescimento inicial em campo (CALDEIRA et al., 2008; FERRAZ; ENGEL, 2011).

Todos os substratos proporcionaram mudas com maior massa seca total na lâmina de 12 mm, sendo que para os substratos SC e LBC+LCE não houve diferença entre as médias de massa seca das mudas nas lâminas de 12 e 9 mm.



Não houve influência das lâminas de água sobre o índice de qualidade de Dickson (IQD), mas houve do substrato (Tabela 26). O maior IQD foi observado nas mudas produzidas no substrato LBC+LCE e o menor em LBC.

Os altos valores de massa seca radicular desta espécie provocaram aumento do índice de Qualidade de Dickson. Haase (2008) menciona que a massa seca radicular pode refletir uma alta quantidade de raízes finas, mas em outros casos pode refletir a formação de apenas uma raiz pivotante mais desenvolvida, como ocorreu para a espécie utilizada neste experimento.

**Tabela 26** - Efeito dos substratos sobre o índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

<b>Substrato</b>	<b>Média</b>	
<b>SC</b>	4,17	B
<b>LBC</b>	3,34	C
<b>LCE</b>	4,32	B
<b>LBC+LCE</b>	4,80	A

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 32,29. SC=Substrato comercial; SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

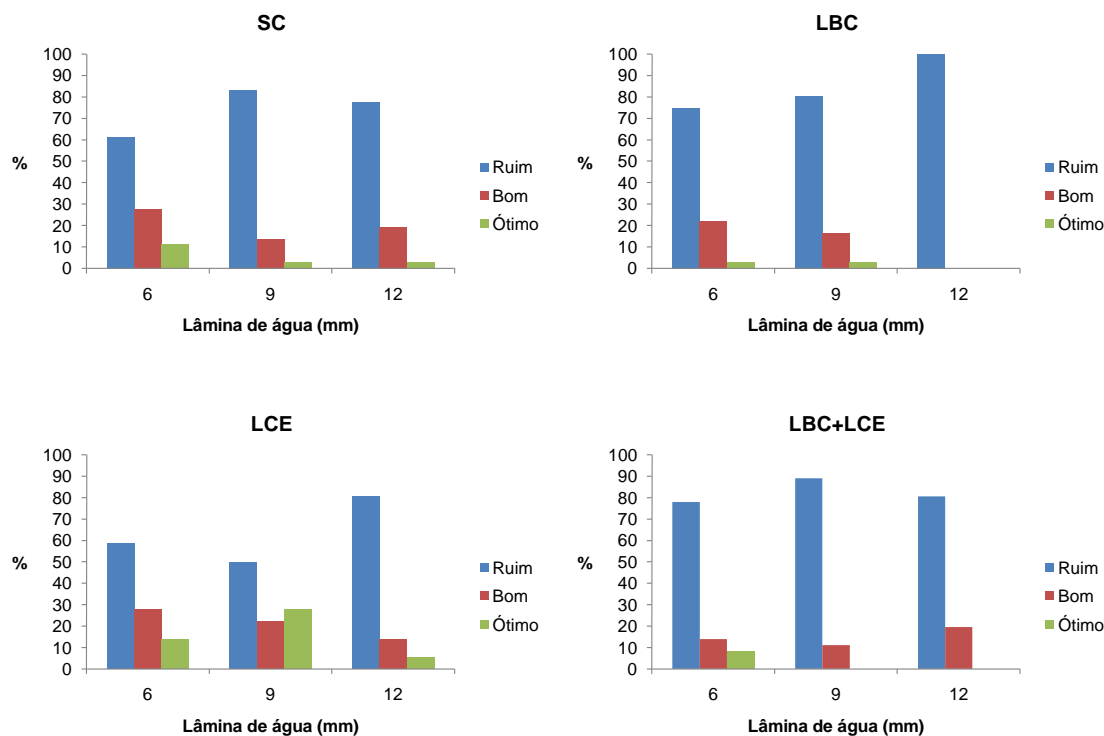
As mudas de embiruçu apresentaram alta porcentagem de sistemas radiculares classificados como “ruim”, ou seja, inaptos para o plantio (figura 6), incluindo as mudas do substrato testemunha (SC). Houve grande dificuldade de retirada das mudas dos tubetes associado à desagregação do substrato. Esta espécie possui um sistema radicular tuberoso e que investe primeiramente na massa radicular em detrimento da parte aérea. Talvez uma melhor opção seria produzi-la em um recipiente com maior volume para não comprometer sua qualidade.

Segundo Wendling et al. (2007), a dificuldade de retirar as mudas dos tubetes aumenta os riscos de danos ao sistema radicular no momento do plantio e dificuldades no estabelecimento e desenvolvimento das mudas em campo.

A morfologia do sistema radicular é considerada por muitos autores como indicação precisa do potencial de estabelecimento das mudas em campo (DAVIS; JACOBS, 2005; LUIS et al., 2009). Um dos componentes mais importantes para o desenvolvimento inicial em campo é a capacidade da muda de produzir raízes

(MANÃS et al., 2009), indicado pela presença de raízes novas no torrão. Essa característica também não foi observada nos sistemas radiculares das mudas utilizadas para esta avaliação.

**Figura 6** - Classificação da conformação do sistema radicular de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a sementeira



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

O índice SPAD (Tabela 27) apresentou diferenças estatísticas entre as mudas dos diferentes substratos, particularmente na lâmina de 6 mm, na qual se destacaram as mudas do substrato LCE, que apresentou a maior média e se distinguiu dos demais tratamentos. Para a lâmina de 9 mm, apenas as mudas do substrato LBC+LCE apresentaram média inferior aos outros substratos, sendo esta a média mais baixa desta variável dentre todos os tratamentos. A lâmina de 12 mm não apresentou diferenças significativas entre as mudas dos diferentes substratos.

Os substratos SC e LCE apresentaram redução do índice SPAD das mudas com o aumento das lâminas. Isso pode ser explicado pelo fator de diluição, já que foi observado um alto desenvolvimento de área foliar nas lâminas maiores.

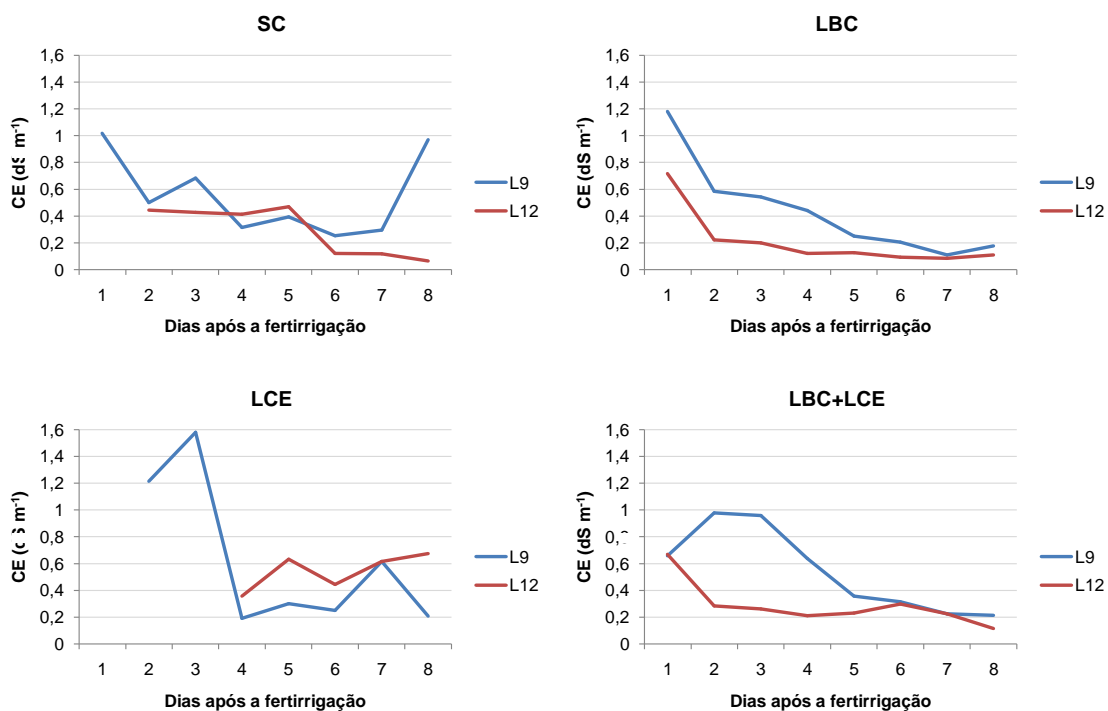
**Tabela 27** - Efeito das lâminas de água e dos substratos no índice de coloração verde (SPAD) em mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Lâmina de água (mm)	Substrato			
	SC	LBC	LCE	LBC+LCE
6	30,3 Ab	27,6 Ad	32,2 Aa	29,0 Ac
9	29,0 Ba	28,4 Aa	28,1 Ba	26,1 Bb
12	28,4 Ba	26,9 Aa	27,7 Ba	28,6 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 11,81. SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

A condutividade elétrica do lixiviado (figura 7) apresentou estreita relação com as propriedades físicas dos substratos, sendo que o substrato com a maior porcentagem de macroporos na avaliação física (substrato LBC) teve a condutividade elétrica do lixiviado reduzida à condutividade próxima à da água na lâmina de 12 mm logo ao quarto dia após a fertirrigação.

**Figura 7** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na condutividade elétrica do lixiviado de mudas de *Pseudobombax grandiflorum*.



SC = substrato comercial; LBC = lodo + bagaço de cana-de-açúcar; LCE = lodo + casca de eucalipto; LBC+LCE = mistura dos materiais LBC e LCE na proporção 2:1 (v:v)

O substrato LCE, porém, não apresentou condutividade elétrica do lixiviado abaixo de  $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Esse resultado pode ser proveniente das características do

substrato, pois a maior retenção de água do material evitou as perdas excessivas de nutrientes nos primeiros dias após a fertirrigação, garantindo à muda o suprimento necessário de nutrientes neste período.

Não houve lixiviado suficiente para a realização das medições na lâmina de 6 mm e, em alguns dias de muito calor, também não houve lixiviado suficiente nos tubetes submetidos às lâminas mais altas (9 e 12 mm). Devido a isso, ocorreram as falhas nas linhas representativas nas figuras dos substratos SC e LCE.

A fração de lixiviado dos tubetes (Tabela 28) apresentou influência apenas do manejo hídrico. As lâminas de água de 6 e 9 mm apresentaram porcentagens de lixiviado próximo a zero e a lâmina de 12 mm apresentou fração de lixiviado mais alta, diferenciando-se dos demais níveis deste fator.

**Tabela 28** - Efeito das lâminas de água e dos substratos na fração de lixiviado de mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Lâmina	Média	
6	2,3	B
9	0,0	B
12	24,3	A

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); CV (%) = 24,97

A redução da fração de lixiviado não significa que o manejo hídrico está adequado. Neste caso podemos observar, através das características morfológicas das mudas, que as lâminas de água mais baixas (6 e 9 mm) ocasionaram desenvolvimento inferior das plantas.

Warren e Bilderback (2005) apontam que a aplicação de um manejo hídrico com baixa oferta de água para as plantas pode causar o fechamento estomático e consequente redução da taxa fotossintética das plantas, resultando em crescimento inferior ao esperado para a espécie. Nesse caso, a ausência de lixiviado não representa vantagem produtiva ao viveirista.

Houve poucas correlações entre o acúmulo de nutrientes e as características físicas dos substratos (Tabela 29), sendo a condutividade elétrica do substrato a propriedade que mais influenciou no acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas. A condutividade elétrica representa uma medida indireta na quantidade de sais solúveis no substrato, essa propriedade do material

correlacionou-se positivamente no acúmulo de Ca, Fe, Mn e Zn, e correlacionou-se negativamente no acúmulo de P, Mg e B.

O acúmulo de nutrientes como o N, K, S e Cu não apresentou qualquer correlação com as características apresentadas enquanto Mg e Zn apresentaram correlações com macro e microporosidade, retenção de água, pH e CE. O acúmulo de Mg e Zn, além de P, na parte radicular das mudas também se correlaciona com as mesmas propriedades físicas mencionadas anteriormente.

**Tabela 29** - Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular das mudas de *Pseudobombax grandiflorum* 180 dias após a semeadura

Parte aérea							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
<b>P</b>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>*</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>*</sup>
<b>K</b>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
<b>Ca</b>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>*</sup>
<b>Mg</b>	-0,70 <sup>*</sup>	0,88 <sup>**</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>**</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>**</sup>	-0,90 <sup>**</sup>
<b>S</b>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
<b>B</b>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>**</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	-0,65 <sup>*</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	-0,93 <sup>**</sup>
<b>Cu</b>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
<b>Fe</b>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>*</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>*</sup>
<b>Mn</b>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,96 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>**</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>
<b>Zn</b>	0,70 <sup>*</sup>	-0,77 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,76 <sup>**</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,89 <sup>**</sup>	0,69 <sup>*</sup>
Parte radicular							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DS	pH	CE
<b>N</b>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>**</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>*</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>P</b>	-0,71 <sup>**</sup>	0,82 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>**</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>*</sup>	-0,67 <sup>*</sup>
<b>K</b>	-0,67 <sup>*</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>*</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	-0,00 <sup>ns</sup>
<b>Ca</b>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>**</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>*</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>**</sup>
<b>Mg</b>	-0,87 <sup>**</sup>	0,92 <sup>**</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>**</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>**</sup>	-0,63 <sup>*</sup>
<b>S</b>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>
<b>B</b>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,67 <sup>*</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
<b>Cu</b>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>**</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>**</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>
<b>Fe</b>	0,22 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,66 <sup>*</sup>	-0,47 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>**</sup>
<b>Mn</b>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,93 <sup>**</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>**</sup>
<b>Zn</b>	0,83 <sup>**</sup>	-0,89 <sup>**</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,96 <sup>**</sup>	0,74 <sup>**</sup>

\*\* e \* = significativo ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) e 5% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade, respectivamente; e<sup>ns</sup> = não significativo. Macro = macroporosidade; micro = microporosidade; PT = porosidade total; RA = retenção de água; DS = densidade seca; pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica

Pode-se concluir que o substrato de lodo compostado com casca de eucalipto (LCE) sob lâmina de 9 mm proporcionou a maior porcentagem de mudas aptas para plantio em campo de *Pseudobombax grandiflorum*. Porém, a alta porcentagem de sistemas radiculares inaptos ao plantio não é resultado dos substratos e das lâminas de irrigação.

## **5 CONCLUSÕES**

As formulações empregando lodo de esgoto, bagaço de cana e casca de eucalipto mostraram-se viáveis tanto para a produção de mudas de eucalipto como para a produção de mudas das espécies nativas, com manejo hídrico específico para cada formulação e espécie.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. L.; MAIA, N.; ORTEGA, A. R.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 323-329, 2005.
- BARBOSA, Z.; SOARES, I.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 519- 522, dez. 2003.
- BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. M.; SANSÍGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.
- BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 630-638, 2011.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S. Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*, produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 238-250, 2000.
- BEESON Jr., R. C. Relationship of plant growth and actual evapotranspiration to irrigation frequency based on management allowed deficits for container nursery stock. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 1, p. 140-148, 2006.
- BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A.; PIRES, A. M. M. (Orgs). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.
- BONNET, B. R. P.; WISNIEWSKI, C. B.; REISSMANN, A. C.; NOGUEIRA, C. V.; BARBIERI, S. J. Effects of substrates composed of biosolids on the production of *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* and *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *Schinus terebinthifolius* seedlings. **Water Science and Technology**, v.46, n.10, p.239-246, 2002.
- BORGES, S. R.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; MELO, L. A.; ROSADO, A. M. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 425-434, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional**. Brasília: Governo Federal, 2004.



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria n.443, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece como espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção". **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 245, 18 dez. 2014. Seção 1, p. 110.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 375, de 29 de Agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/reLCE7506.pdf>>. Acesso em 11 Ago. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.46, de 12 de setembro de 2006. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 177, 14 set. 2006. Seção 1, p. 9.

CALDAS, L. S. Pomares de sementes de espécies nativas as funções das redes de sementes. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. D. **Pomar de sementes de espécies florestais nativas**. Curitiba: FUPEF do Paraná, 2006. p. 227-241.

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K. C. Uso do resíduo do algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, p. 191-202, 2008.

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

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

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

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.

CEGLIE, F. G.; BUSTAMANTE, M. A.; AMARA, M. B.; TITTARELLI, F. The challenge of peat substitution in organic seedling production: optimization of growing media formulation through mixture design and response surface analysis. **Plos One**, v. 10, n. 6, 2015. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0128600>>. Acesso em 06 Jul. 2017.

CEPAGRI. A classificação climática de Köeppen para o Estado de São Paulo. Disponível em: <http://orion.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em: 04 set. 2017.

CHANG, A. C.; HYUN, H.; PAGE, A. L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p. 11-19, 1997.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. J. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: Relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n 3, p.333-341, 2004.

CIAVATTA, S. F.; SILVA, M. R.; SIMÕES, D. Fertirrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* nos períodos de inverno e verão. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 217-222, 2014.

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V.; SOARES, F. A. L.; ALVA, L. D. M. Efeitos residuais da aplicação de bio sólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 687-693, 2009.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.507-516, 2005.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOVISI, A. A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A. M.; PINHEIRO, E. R.; SOUZA, E. F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Árvore**, v.21, n.2, p.163-168, 1997.

DAUDT, R. H. S.; GRUSZYNSKI, C.; KÄMPF, A. N. Uso de resíduos de couro wet-blue como componente de substrato para plantas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 91-96, 2007.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. **New Forests**, v. 30, n. 2, p. 295-311, 2005.

DEGRANDE, A.; TADJO, P.; TAKOUTSING, B.; ASAAH, E.; TSOBENG, A.; TCHOUNDJEU, Z. Getting trees into farmers' fields: success of rural nurseries in distributing high quality planting material in Cameroon. **Small-scale Forestry**, v. 12, n. 3, p. 403-420, 2012.

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

DELGADO, L. G. M.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Qualidade morfológica de mudas de ingá sob diferentes manejos hídricos. **Irriga**, v. 22, n. 3, p. 420-429, jul-set, 2017.

DE SÁ, T. C. L. L.; MARQUES, M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo

contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 121-132, jan. 2000.

DUARTE, M. C. **Diversidade de Bombacaceae Kunth no Estado de São Paulo**. 99 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.

DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; SALIFU, K. F.; JACOBSON D. F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early out planting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, n. 12, p. 2961-2967, 2005.

ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; ARANDA, A. N.; BORTOLAZZO, E. D.; BRAGA, J. S. Avaliação de mudas de beterraba em função do substrato e do tipo de bandeja. **Semina : Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 45-50, 2007.

ELSHEERY, N. I.; CAO, E. K. F. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. **Acta Physiology Plant**, v.30, p.769-777. 2008.

FAIN, G. B.; TILT, K. M.; GILLIAM, C. H.; PONDER, H. G.; SIBLEY, J. F. Effects of cyclic micro-irrigation and substrate in pot-in-pot production. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 16, n. 4, p. 215-218, 1998.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELENA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Uso de resíduos orgânicos na produção de mudas de *Senna alata* (L.) Roxb. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 1, n. 3, p. 133-146, set.-dez., 2013.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FONSECA, T. G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO<sub>2</sub> na água de irrigação**. 2001. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

FRANCISCO, M. R.; LUNARDI, V. O.; GALETTI, M. Massive seed predation of *Pseudobombax grandiflorum* (Bombacaceae) by parakeets *Brotogeris vericoloris* (Psittacidae) in a forest fragment in Brazil. **Biotropica**, v. 34, n.4, p. 613-615, 2002.

GALETTI, M. Diet of the Scaly-headed Parrot (*Pionus muximiflunz*) in a semideciduous forest in southeastern Brazil. **Biotropica**, v. 25, p. 419-425, 1993.

GARCIA, R. D. **Qualidade das mudas clonais de dois híbridos de eucalipto em função do manejo hídrico**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-PK. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GOMES, C. Z.; STEGANHA, R.; SANTOS, J. E. G.; TRINDADE, G. **Consciência ambiental: resíduos gerados pelas tintas e solventes em flexografia**. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais** (propagação sexuada). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004.

GONÇALVES J. L. M.; SANTERELLI E. G.; NETO S. P. M.; MANARA M. P. **Produção de mudas de espécies nativas**: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. *Nutrição e fertilização florestal*, 2000.

GONÇALVES, E. O.; PETRI, G. M.; CALDEIRA, M. V. W.; DALMASO, T. T.; SILVA, A. G. Crescimento de mudas de *Ateleia glazioviana* em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 339-348, jul.-set., 2014.

GROSSNICKLE, S. C. The importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 273-294, 2005.

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

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR., F. T.; GENEVE, R. **Plant propagation**: principles and practices. 8 ed. Boston: Prentice-Hall, 2011. 915 p.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HEISKANEN, J. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings. **New Forests**, v. 44, p. 101-118, 2013.

HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: princípios básicos e sua evolução no Brasil. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.192, p. 11, jan./fev. 2000.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2016**. São Paulo. 2016.

JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F.; SEIFERT, J. R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 235-251, 2005.

KAMPF, A. N. Substrato. In: KAMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2ed. Guaíba: Agrolivros, 2005. p.45-72.

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

- LAZAROTTO, M.; MUNIZ, M. F. B.; BELTRAME, R.; SANTOS, A. F.; MACIEL, C. G.; LONGHI, S. J. Sanidade, transmissão via semente e patogenicidade de fungos em sementes de *Cedrella fissilis* procedentes da região Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 493-503, 2012.
- LISBOA, C. A.; SANTOS, S. P.; OLIVEIRA NETO, N. S.; CASTRO, N. D.; ABREU, M. H. A. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603-609, 2012.
- LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T.; CORRÊA, N. B.; SILVA, D. P. Germinação de sementes de embiruçu (*Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns) em diferentes estádios de maturação e substratos. **Floresta**, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- LOPES, J. L. W; GUERRINI I. A.; SAAD J. C. C. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, set./out. 2007.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4ª Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v.1, 384p.
- LUIS, V. C.; PUÉRTOLAS, J.; CLIMENT, J.; PETERS, J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; MORALES, D.; JIMÉNEZ, M. S. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. **European Journal of Forest Research**, v. 128, n. 3, p.221-229, 2009.
- MAÑAS P.; CASTRO E.; DE LAS HIERAS, J. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) seedling using waste materials as nursery growing media. **New Forests**, v. 37, n. 3, p. 295-311, 2009.
- MEDEIROS, A. C. S.; MENDES, M. S. S.; FERREIRA, M. A. S. V.; ARAGÃO, F. J. L. Avaliação quali-quantitativa de fungos associados à sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* (FR. ALL.) ENGL.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 1, p. 51-55, 1992.
- MILLION, J.; YEAGER, T.; ALBANO, J. Consequences of excessive overhead irrigation on runoff during container production of sweet viburnum. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 25, n. 3, p. 117-125, 2007.
- MODNA, D.; DURIGAN, G. ; VITAL, M. V. C. *Pinus elliottii* Engelm como facilitadora da regeneração natural em mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 73-83, 2010.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A Cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 160 p.
- MOTA, J. C. A.; ASSIS JUNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J.; LIBARDI, P. L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos da chapada do Apodi, RN, cultivadas com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, f.1, p. 49-58, 2008.
- MÜLLER, C.; HODECKER, B. E. R.; MERCHANT, A.; BARROS, N. F. Nutritional efficiency of Eucalyptus clones under water stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2017; 41:e0160528.

NAVROSKI, M. C.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; FRIGOTTO, T.; PEREIRA, M. O.; GALVANI, L. V. Procedência e adubação no crescimento inicial de mudas de cedro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 17-24, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, O. A.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011.

PÉREZ, P. V.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; LANG, A.; ZACHOW, K. Efeito de bio sólido no crescimento inicial de *Corymbia citriodora*. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 13-23, 2011.

PINTO, S. I. C.; RAMOS, S. J.; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; NOVAIS, C. B.; SILVA, K.; FURTINI NETO, A. E. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1005-1014, 2009.

POTTS B. M.; DUNGEY H. S. Interspecific hybridization of Eucalyptus: key issues for breeders and geneticists. **New Forests**, v.27, p. 115-138, 2004.

PROTÁSIO, T. P.; NEVES, T. A.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 465-477, abr-jun, 2014.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, R. V.; BIESKI, I. G. C.; BALOGUN, S. O.; MARTINS, D. T. O. Ethnobotanical study os medicinal plants used by Ribeirinhos in the North Araguaia microregion, Mato Grosso, Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 205, p. 69-102, 2017.

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

ROSA JÚNIOR, E. J.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; SANTOS FILHO, V. C. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill, em tubetes. **Ciência Agrônômica**, Ceará, p. 18 - 22, 1998.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, M. R.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez. 2011.

SENA JÚNIOR, D. G.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; KHOURY JÚNIOR, J. K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.187-195, 2008.

- SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação.** 1998. 105f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden).** 2003. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeito do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Irriga**, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2004.
- SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 609-619, jul.-set., 2014.
- SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Effects of management on growth, irrigation efficiency and initial development of *Aspidosperma polyneuron* seedlings. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 3562-3569, 2015.
- SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 91-100, 2012.
- SMART, R. E.; BINGHAM, G. E. Rapid estimates of relative water content. **Plant Physiology**, v. 53, p. 258-260. 1974.
- SONNEVELD, C.; ENDE, J.; DIJK, P.A. Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 5, p. 183-202, 1974.
- SONNEVELD, C. Analytical methods for substrates in the Netherlands. **Acta Horticulturae**, n. 221, p. 413-416, 1988.
- SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 254p.
- SOUZA, C. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 243- 249, 2006.
- SPERANDIO, H. V.; CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; SILVA, A. G.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* produzidas em diferentes substratos. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 214-221, out./dez. 2011.
- STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brasil. **New Forests**, Dordrecht, v. 22, v. 1, p. 19-41, 2001.

SUGUINO, E.; MARTINS, A. N.; PERDONÁ, M. J.; NARITA, N.; MINAMI, K. Efeito da porosidade do substrato casca de pinus na produção de mudas de pitangueira e uvaieira. **Nucleus**, v. 10, n. 1, abr. 2013.

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

TÉO, S. J.; MARCON, A.; COSTA, R. H. Poda da parte aérea, visando melhor qualidade de mudas de *Pinus taeda*, em Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 57-62, 2014.

THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A.; COLARES, M. .F. B.; SILVA, A. C.; LIMA, P. L. T. Dinâmica das características químicas de um substrato florestal exposto à irrigação. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 375-384, 2015.

TÓTOLA, M. R.; BORGES, A. C. Growth and nutritional status of brazilian wood species *Cedrella fissilis* and *Anadenanthera peregrina* in bauxite spoil in response to arbuscular mycorrhizal inoculation and substrate amendment. **Brazilian Journal os Micrbiology**, v. 31, p. 257-265, 2000.

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

TRAZZI, P. A. **Substratos renováveis na produção de mudas de Tectona grandis Linn F.** 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

TRAZZI, P. A., CALDEIRA, M. V. W., COLETOMBI, R. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, abr.-jun., 2014.

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

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

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.69-106.

WALL, A.; HEISKANEN, J. Soil–water content and air-filled porosity affect height growth of Scots pine in afforested arable land in Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 8, p. 1751-1756, 2009.

WARREN, S. L.; BILDERBACK, T. E. More plant per gallon: getting more out of your water. **Hort Technology**, v. 15, n. 1, p.14-18, 2005.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; GOMES, J. M.; PIRES, I. E.; ANDRADE, H. B. Propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v.24, n.2, p.181-186, 2000.



WENDLING, I.; FERRARI, M. P.; GROSSI, F. Curso intensivo de viveiros e produção de mudas. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2002. 48 p.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Aprenda Fácil; 2002.

XAVIER, A.; ANDRADE, H. B.; OLIVEIRA, M. L.; WENDLING, I. Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 403-411, 2001.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p.209-220, 2007.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, M. L. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3. 2003.