



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LETÍCIA BORBA MARZOLA

**USO DE BIOSSÓLIDOS PROVENIENTES DE DIFERENTES ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COMO COMPONENTE DE SUBSTRATOS PARA
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Lafoesia pacari***

Prof. Dr. LUCAS AMARAL DE MELO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
FEVEREIRO – 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LETÍCIA BORBA MARZOLA

**USO DE BIODÉTRITOS PROVENIENTES DE DIFERENTES ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COMO COMPONENTE DE SUBSTRATOS PARA
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Lafoensia pacari***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. LUCAS AMARAL DE MELO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
FEVEREIRO – 2014

**USO DE BIOSSÓLIDOS PROVENIENTES DE DIFERENTES ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COMO COMPONENTE DE SUBSTRATOS PARA
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Lafoensia pacari***

LETÍCIA BORBA MARZOLA

Monografia aprovada em 5 de fevereiro de 2014

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
UFRRJ - IF/DS
Orientador

Prof. Dr. Paulo Sergio dos Santos Leles
UFRRJ - IF/DS
Membro

Eng. Florestal Elton Luis da Silva Abel
Mestre em Ciências Ambientais e Florestais
Membro

AGRADECIMENTOS:

À família, força sempre presente, sem eles nada seria possível. Essa vitória também é de vocês!

Ao grande mestre, Lucas Amaral, pelos ensinamentos, orientação e paciência.

À banca examinadora pela disponibilidade.

À Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (Nova CEDAE) pelo fornecimento do composto para realização do experimento.

Ao Alcione Duarte, Eng. Florestal Elton Abel, Eng. Químico e Sanitarista Adriano Gama, Biólogo César Seleri, Biólogo Thiago Tourino, Eng. Florestal Alan Abreu e a todos os funcionários do viveiro, pela orientação técnica.

À UFRRJ e ao Instituto de Florestas, que além de nos proporcionar conhecimento científico, nos proporcionou acima de tudo conhecimento de vida.

À família eterna da Rural, Edvá Brito, Júlia Campos, Joyce Ayla, Talita Fernandes e Haris, à república Socanela, Rural Resort, pelas risadas e apoio sempre presente.

RESUMO

O crescimento populacional urbano causa um aumento na quantidade de resíduos sólidos e líquidos produzidos pelo homem, gerando uma preocupação quanto ao despejo desses materiais. Uma alternativa viável para o aproveitamento e descarte de alguns desses resíduos seria sua aplicação no meio agrícola, permitindo o seu retorno ao ambiente, sem causar poluição. O biossólido (lodo de esgoto estabilizado e higienizado) é um resíduo que pode ser usado como substrato para a produção de mudas, pois propicia um aumento na capacidade de retenção hídrica, fornece macro e micronutrientes às mudas, permitindo uma economia na adubação suplementar, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes substratos, provenientes de três estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do Rio de Janeiro (ETE de Alegria, ETE Ilha e ETE Sarapuí), disponibilizados pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (Nova CEDAE), misturados à fibra de coco, no crescimento de mudas de *Lafoensia pacari*, em comparação a um substrato padrão utilizado em viveiro. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos e quatro repetições, com 12 mudas por parcela. A partir de 45 dias após a semeadura, foram mensurados, quinzenalmente, a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto das mudas e, ao final do experimento, a matéria seca da parte aérea e da raiz. O crescimento das plantas, em geral, foi superior quando utilizados os biossólidos, em relação ao substrato comercial.

Palavras-chave: dedaleiro, produção de mudas, lodo de esgoto.

ABSTRACT

The urban population growth causes an increase in the amount of solid and liquid waste produced by men and a concern regarding its disposal. A viable alternative to the use and disposal of this waste would be to its application in the agricultural, returning into the environment without polluting. The biosolid (sewage sludge stabilized) is a residue that can be used as substrate for the production of seedlings, mostly because of the fact that it increases the water retention capacity and provides macro and micronutrients to plants, allowing savings in supplemental fertilization, may be a less costly alternative than commercial substrates. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of different substrates from three sewage treatment plants in the Rio de Janeiro (Alegria's ETE, Ilha's ETE and Sarapuí's ETE), made available by the State Company for Water and Sewer Rio de Janeiro (New CEDAE). Those substrates were mixed with coconut fiber to the production of *Lafoensia pacari* seedlings and compared to a standard substrate used in nurseries to produce seedlings. The experimental design was completely randomized with four treatments and four replicates with 12 seedlings per plot. At 45 days after sowing, were measured, fortnightly, the shoot height and stem diameter of seedlings and at the end of the experiment, the dry matter of shoots and roots. Plant growth, in general, was higher when using the biosolids, when compared to commercial substrate.

Keywords: dedaleiro, seedlings production, sewage sludge.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	1
2.1. Qualidade de mudas florestais.....	1
2.2. Substratos utilizados na produção de mudas em tubetes.....	3
2.3. Biossólido	3
2.4. Usos do biossólido para produção de mudas florestais.....	5
2.5. Caracterização de <i>Lafoensia pacari</i> St. Hill.	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Local do estudo	7
3.2. Caracterização dos biossólidos provenientes de três ETES da região metropolitana do Rio de Janeiro.....	7
3.3. Instalação do experimento e produção das mudas	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1. Caracterização dos tratamentos de esgoto em três estações de tratamento da região metropolitana do Rio de Janeiro.....	10
4.2. Características físicas dos substratos utilizados para a produção de mudas de <i>Lafoensia pacari</i>	11
4.3. Produção de mudas de <i>Lafoensia pacari</i>	13
5. CONCLUSÃO	16
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

As raízes das plantas necessitam de suporte estrutural para crescerem e se desenvolverem. Substrato, água, nutrientes e oxigênio são necessários para a sobrevivência das plantas e seu posterior crescimento. Além de características físicas e químicas, o substrato deve ser uma alternativa de baixo custo e estar disponível na região próxima ao viveiro.

Entre os substratos existentes, o lodo de esgoto, conhecido também por biossólido, vem sendo utilizado como alternativa em relação aos substratos comerciais. Além de ser condicionador de solo por ser rico em matéria orgânica e nutrientes, apresenta uma vantagem aos fertilizantes convencionais, pois seus nutrientes estão na forma orgânica e são liberados gradativamente, de acordo com a necessidade da espécie vegetal.

Sua aplicação agrícola florestal apresenta vantagem também em relação a outras destinações finais. Em sua maioria, o lodo de esgoto tem como destino final o aterro sanitário, a incineração, o uso na construção civil etc.

Visando o uso agrícola, após transformações microbianas e devida higienização e estabilização, o biossólido se torna um componente viável para a produção de mudas florestais, além de seu uso minimizar problemas ambientais, que dependendo da sua origem e tipo de tratamento podem apresentar contaminação por patógenos ao homem, metais pesados e compostos orgânicos persistentes.

A produção de lodo de esgoto vem aumentando muito nos últimos anos, devido à construção de novas estações de tratamento de esgoto e ao aumento da capacidade de tratamento nessas estações. Com o aumento da produção, também surge uma preocupação quanto a sua disposição, proteção aos recursos hídricos e contaminação dos solos e vegetais.

Tendo em vista as potencialidades do uso do biossólido como componente de substratos e admitindo a importância da composição adequada do substrato na formação das mudas, o presente trabalho objetivou avaliar o crescimento de mudas de *Lafoensia pacari* produzidas em substratos compostos de biossólido provenientes de diferentes estações de tratamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade de mudas florestais

As características da muda de boa qualidade estão intrinsecamente relacionadas com o seu potencial de sobrevivência e crescimento no campo após o plantio, o que determinará a necessidade de replantio e demanda de tratos culturais de manutenção do povoamento recém-implantado (CARNEIRO, 1995). Os parâmetros morfológicos das mudas, como altura da parte aérea, diâmetro de coleto, maturação da parte aérea e o crescimento do sistema radical são características de fácil avaliação em viveiro e podem dar boas prescrições do grau de qualidade em que a muda se encontra.

Segundo Gomes *et al.* (1996), para mudas de eucalipto características como a altura média (entre 15 e 30 cm), diâmetro do coleto (> 2 mm), sistema radicial (desenvolvimento, formação e agregação), rigidez da haste (amadurecimento das plantas), número de pares de folhas (mínimo de três pares), aspecto nutricional (sintomas de deficiência) e resistência a pragas e doenças (sanidade) são os parâmetros de uma muda de qualidade considerados pelas empresas do setor florestal. A má formação do sistema radicial impede a absorção de água e nutrientes em quantidades suficientes para atender às necessidades da planta, resultando em

um quadro sintomatológico típico de deficiência hídrica e ou nutricional, em consequência do desequilíbrio entre raiz e parte aérea.

A altura da parte aérea, segundo Gomes e Paiva (2004), fornece boa estimativa para o crescimento inicial das mudas em campo, porém deve-se verificar se as mesmas não se encontram estioladas, ou seja, com baixos valores para o diâmetro do coleto e para a matéria seca. Se houver um desbalanceamento entre o crescimento em altura e o diâmetro do coleto e ou matéria seca, a sobrevivência e o crescimento em campo poderão ser prejudicados.

O diâmetro de coleto, conforme Carneiro (1995), é a variável mais importante a ser avaliada na fase de produção de mudas, visto que ela está diretamente relacionada com o índice de sobrevivência e crescimento inicial das plantas em campo.

A relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto também denominada de quociente de robustez, é caracterizada como o equilíbrio de crescimento das mudas no viveiro, uma vez que conjuga dois parâmetros em apenas um só índice, resultando em um valor absoluto, sem exprimir qualquer tipo de unidade. A relação deve-se situar entre os limites 5,4 até 8,1, sendo que quanto menor for o seu valor, maior será a capacidade de as mudas sobreviverem e se estabelecerem na área do plantio definitivo (CARNEIRO, 1995).

A quantificação da biomassa radicial, segundo Novaes (1998), sob o ponto de vista fisiológico, é de grande importância, visto estar diretamente ligada à sobrevivência e crescimento inicial em campo, devido a sua função de absorção de água e nutrientes. A biomassa seca radicial, para Gomes e Paiva (2004), tem sido reconhecida como um dos melhores e mais importantes parâmetros para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas em campo, de modo que a sobrevivência é maior, quanto mais abundante for o sistema radicial, independentemente da altura da parte aérea, havendo uma correlação entre a matéria seca das raízes e a altura da parte aérea.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD), segundo Gomes e Paiva (2004), é um bom indicador de qualidade das mudas, pois leva em conta para o seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas, ponderando vários parâmetros considerados importantes. De maneira geral, quanto maior o seu valor, melhor será o padrão de qualidade da muda, sendo calculado da seguinte forma:

$$IQD = \frac{MST (g)}{H (cm)/D (mm) + MSPA (g)/MSR(g)}$$

Em que:

MST = matéria seca total (g)

H = altura da parte aérea (cm)

D = diâmetro de coleto (mm)

MSPA = matéria seca da parte aérea (g)

MSR = matéria seca da raiz (g)

2.2. Substratos utilizados na produção de mudas em tubetes

Substrato é o meio em que as raízes das plantas se desenvolvem, fornecendo suporte estrutural à parte aérea das mudas. O substrato participa também do armazenamento de nutrientes, água e oxigênio, disponibilizando estes fatores para as raízes das plantas. Cada substrato vai apresentar um tipo de característica devido às diversas interações que ocorrem ao longo do tempo, tais como organismos vivos atuando sobre o material originário, tipo de clima ou ações antrópicas (CARNEIRO, 1995), além das particularidades físicas e químicas de cada material.

O substrato deve ter boas características físicas, químicas, ter um custo baixo e ser disponível na região do viveiro. Segundo Carneiro (1995), dificilmente encontra-se um único componente que apresente todas as características favoráveis ao crescimento das mudas. Neste sentido, surgem as misturas de componentes, tais como a vermiculita, os diversos compostos orgânicos, o esterco bovino, o lixo urbano compostado, o húmus de minhoca, a turfa, a moínha de carvão, a terra de subsolo, a serragem, o bagaço de cana, a acícula de *Pinus*, entres outros, normalmente condicionados por sua disponibilidade (GONÇALVES e POGGIANI, 1996), assim como pelo preço, custo de transporte etc.

Segundo Mesquita e Pereira Neto (1992), composto orgânico é o material resultante da decomposição de restos vegetais e ou animais, sendo que o processo de compostagem consiste em amontoar esses resíduos e, mediante tratamentos físicos e ou químicos, acelerar a sua decomposição, com controle sistemático da temperatura e da umidade.

A fibra da casca do coco (*Cocos nucifera* L.) pode ser importante na produção de substratos de boa qualidade para a produção de mudas ou em cultivos sem o uso do solo (CARRIJO et al., 2002). Possui grande porcentagem de lignina (35-45%) e de celulose (23-43%) e uma pequena quantidade de hemicelulose (3-12%), que é a fração vulnerável ao ataque de microrganismos. Essas características conferem ao substrato de fibra de coco, grande durabilidade, sendo, dessa maneira, recomendável para cultivos de ciclo longo como ornamentais, assim como o cultivo de hortícolas sem o solo, pois não sofre o processo de degradação acelerado causado pela intensa aplicação de água e fertilizantes (NOGUERA et al., 2000).

Substrato com a utilização de fibra de coco fica leve, de fácil manuseio, com boa capacidade de absorção de água e proporciona bom desempenho germinativo das sementes (SOUZA et al., 2007).

Segundo Carrijo et al. (2002), as boas propriedades físicas da fibra de coco, a não reação com os nutrientes da adubação, a longa durabilidade sem alteração de suas características físicas, a possibilidade de esterilização, a abundância da matéria-prima que é renovável e o baixo custo para o produtor, fazem desse resíduo um substrato de excelente uso para a produção de mudas florestais.

A fibra de coco aparece como uma alternativa para a produção de substratos, sendo de fácil obtenção e baixo custo, por ser resíduo da exploração comercial da água de coco, existente em abundância (KÄMPF, 2000).

2.3. Biossólido

O lodo de esgoto é o subproduto obtido do tratamento de águas residuárias, com a finalidade de recuperar a sua qualidade, de modo a permitir o seu retorno ao ambiente, sem causar poluição. De acordo com o volume de águas residuárias tratadas nas Estações de

Tratamento de Esgoto (ETE), grande quantidade de lodo pode se acumular em seus pátios, tornando a sua disposição final um importante problema ambiental (CASSINI et al., 2003).

A dificuldade para realizar a disposição final adequada do lodo de esgoto produzido nas estações de tratamento é um problema para os gerentes da área de saneamento no Brasil. As pesquisas demonstram que esse resíduo pode ser utilizado para fins agrícolas e ou florestais, evitando sua deposição em aterros e lixões, geralmente localizados na periferia das grandes cidades. Assim, esse resíduo, hoje problemático, no futuro poderá ser considerado um insumo, gerando um estímulo para que mais esgotos urbanos sejam tratados antes de promoverem a eutrofização e poluição dos rios (LIRA et al., 2008).

As lagoas de estabilização do lodo são os sistemas de tratamento biológicos mais utilizados no Brasil, entretanto não tem sido dada a devida importância à problemática do volume de lodo produzido por essas lagoas, bem como a sua disposição. O lodo produzido em cerca de 90% das lagoas da Região Sudeste do Brasil nunca foi removido e diversas lagoas anaeróbias possuem mais que 50% de seu volume ocupado com lodo (GONÇALVES, 2000).

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

Uma das alternativas viáveis para a disposição desse resíduo é o seu uso como componente de substratos destinados ao cultivo de mudas (ALTAFIN et al., 2004), tendo em vista a economia de fertilizantes que esse material proporciona para diversas culturas (MORAIS et al., 1997), além dos benefícios ambientais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

Em sua composição, o lodo de esgoto além de ser rico em matéria orgânica e nutrientes, também pode apresentar, dependendo da sua origem e tipo de tratamento, diversos poluentes (metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem), atributos que devem ser verificados com muito cuidado (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Tais fatores foram alicerces para a resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), por meio da qual se regulamenta e define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

O gerenciamento da sanidade do lodo, caracterizada pelos principais agentes patogênicos, tais como os ovos de helmintos, cistos de protozoários, colônias de bactérias, hifas de fungos e alguns vírus, é realizado por meio de métodos de higienização, que devem ser econômicos, seguros e de fácil aplicação prática. Além do sistema de higienização, o gerenciamento da reciclagem deve considerar a possibilidade de definição de restrições de uso, que devem ser tanto mais rigorosas quanto pior for a eficiência do método selecionado (ILHENFELD et al., 1999).

Visando o uso agrícola, após transformações microbianas e devida higienização e estabilização, o lodo de esgoto pode passar a ser designado como biossólido, termo que passou a ser utilizado na maioria dos países e em várias normas no início da década de 1980, com o objetivo de tirar a conotação pejorativa associada ao termo lodo de esgoto e promover o conceito de que este material não é simplesmente um resíduo e que pode e deve ser reutilizado ou reciclado em sistemas de usos benéficos (GUEDES, 2005). Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1999), o termo biossólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atendam às condições das normas para uma utilização segura na agricultura. O lodo que não tenha recebido tratamento adequado para controle de poluentes e patógenos não é considerado biossólido (POGGIANI et al., 2000).

A reciclagem agrícola é a forma de disposição final do lodo de esgoto que pode ser considerada mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que convenientemente aplicada (ANDREOLI, 1999).

O caráter mais científico do uso agrícola do lodo de esgoto se desenvolveu no início do século XX, sendo que, no exterior, as pesquisas com o resíduo vêm sendo realizadas há bastante tempo. Por volta de 1970, intensificaram-se essas pesquisas, expandindo-se os conhecimentos científicos sobre o lodo e sobre o processo de tratamento (GUEDES, 2005).

Do ponto de vista ecológico, desde que assegurada a qualidade do lodo em termos de possíveis contaminantes, seu uso agrícola e ou florestal, por promover sua reciclagem, é uma das mais corretas dentre as várias alternativas de disposição final (GUEDES, 2005). Segundo Poggiani *et al.*, (2000), além de representar benefício econômico, o uso agrícola deste resíduo representa benefício ecológico, pelo retorno ao campo de parte da matéria orgânica, nutrientes e energia exportados para os centros urbanos. Outro importante benefício ambiental é a possibilidade de aumento do estoque de carbono no solo e amenização do efeito estufa (GIBSON *et al.*, 2002).

Por outro lado, a prática envolve alguns impactos ambientais negativos potenciais, que demandam controle. É característica do tratamento de esgoto a decantação de organismos patogênicos, compostos orgânicos complexos e moléculas ligadas a metais pesados (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Além do conhecimento dos impactos ambientais positivos e negativos causados pela utilização do produto, a reciclagem agrícola do lodo de esgoto pressupõe o desenvolvimento de tecnologias que permitam o processamento e controle da qualidade do lodo produzido, o controle das formas de comercialização e distribuição e a inserção do produto nos sistemas agrícolas, de forma a maximizar os impactos positivos e minimizar os impactos negativos (ANDREOLI, 1999).

Portanto, deve-se ressaltar que cuidados devem ser tomados para a utilização de lodo de esgoto, considerando o atendimento à legislação quanto ao aspecto sanitário (higienização ou esterilização), no caso do Brasil, à Resolução n° 375 do CONAMA (BRASIL, 2006).

2.4. Usos do biossólido para produção de mudas florestais

Os substratos para a produção de mudas podem ser definidos como sendo o meio adequado para sua sustentação e retenção das quantidades suficientes e necessárias de água, oxigênio e nutrientes, além de oferecer pH compatível, ausência de elementos químicos em níveis tóxicos e condutividade elétrica adequada. A fase sólida do substrato deve ser constituída por uma mistura de partículas minerais e orgânicas. O estudo do arranjo percentual desses componentes é importante, já que eles poderão ser fonte de nutrientes e atuarão diretamente sobre o sistema de produção de mudas. Portanto, em função do arranjo quantitativo e qualitativo dos materiais minerais e orgânicos empregados, as mudas serão afetadas quanto ao suprimento de nutrientes, água e oxigênio disponíveis (ROSA JR. *et al.*, 1998).

O uso do biossólido como componente de substratos para produção de mudas florestais pode propiciar um aumento na capacidade de retenção hídrica, fornecer macro e micronutrientes às mudas, permitindo uma economia na adubação suplementar, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais, ou outros componentes (MORAIS *et al.*, 1997).

Segundo Sarzi (2006), dentre as características físicas de um substrato, a capacidade de aeração é muito importante porque define a porcentagem de seu volume que permanece com ar, após o substrato ter sido saturado com água e deixado drenar. Guerrini e Trigueiro

(2004), alertam que a alta proporção de microporos na composição do biossólido pode prejudicar a aeração do substrato, afetando o crescimento das mudas nos substratos compostos exclusivamente por este composto. Já, Padovani (2006) encontrou resultados interessantes ao analisar diferentes formulações de biossólidos e casca de arroz carbonizada na produção de mudas florestais nativas e exóticas, encontrando as melhores características físicas nos tratamentos que variavam de 60 a 100% de biossólido em sua composição.

De acordo com Trigueiro e Guerrini (2003), o uso do biossólido como componente de substratos para formação de mudas florestais é uma alternativa viável para a disposição final deste resíduo, com ganhos não somente ambientais, mas também na economia de fertilizantes que o biossólido pode proporcionar, chegando até a 64% de economia.

Os altos teores de nutrientes e matéria orgânica presentes nos biossólidos podem promover uma significativa economia de fertilizantes químicos aos viveiristas, assim como um aumento na qualidade das mudas produzidas (TRIGUEIRO e GUERRINE, 2003). Além disso, a matéria orgânica contida nos biossólidos pode aumentar o conteúdo de húmus, que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no substrato (BETTIOL, 2000).

Normalmente, a utilização de biossólido promove a valorização do substrato devido a transformações, na maioria das vezes positivas, sobre suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Do ponto de vista químico, quando o biossólido, principalmente aqueles alcalinos, são misturados com terra de subsolo, reagem, podendo ocorrer diminuição da acidez, assim como aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e da disponibilidade de macro e micronutrientes, melhorando a sua fertilidade. Em solos tropicais muito intemperizados, onde a CTC é extremamente dependente da matéria orgânica, o uso deste resíduo é ainda mais atrativo (MELO et al., 1994).

Assim, uma das alternativas mais promissoras para que as estações de tratamento de esgoto possam dar uma disposição final adequada ao lodo gerado é a utilização na área florestal, aproveitando seu potencial como fertilizante e condicionador de solo para melhorar o crescimento das plantas durante o processo de formação de mudas florestais (ASSENHEIMER, 2009).

2.5. Caracterização de *Lafoensia pacari* St. Hill.

Lafoensia pacari St. Hill. é uma espécie de porte arbóreo, pertencente à família Lythraceae, conhecida popularmente como dedaleiro, dedal, mangava brava e pacari. Encontra-se presente principalmente em florestas de altitude, no cerrado e na arborização de ruas (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

O dedaleiro é uma planta promissora em virtude de suas diversas utilidades e por seu grande valor medicinal. Sua madeira é utilizada para obras externas e internas, marcenaria, tacos para assoalho, moirões, cabos de ferramentas, construção civil e tabuados em geral, além do seu potencial para paisagismo e recuperação de áreas degradadas (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

Segundo Backes e Irgang (2004), a espécie é relativamente rara, pois apresenta sua dispersão bastante esparsa na natureza. É uma espécie usada em paisagismo urbano devido ao pequeno a médio porte, presta-se bem para plantio em calçadas e canteiros, pois é bastante rústica e suas flores grandes branco-amareladas são visitadas por abelhas devido ao pólen e ao néctar.

A espécie também é recomendada para reflorestamentos mistos na recomposição de áreas degradadas (LORENZI, 2000) e para recomposição de mata ciliar em locais bem drenados ou com inundações periódicas de rápida duração (CARVALHO, 2003).

Em Curitiba, *Lafoensia pacari* está entre as dez espécies mais utilizadas na arborização das ruas (MILANO, 1984), pois convive bem com outras espécies e sob a rede elétrica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do estudo

O experimento foi conduzido de outubro de 2013 a janeiro de 2014 no viveiro florestal Luiz Fernando Oliveira Capellão do Departamento de Silvicultura, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ.

O clima da região de Seropédica, RJ, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (BRASIL, 1980), tropical com chuvas de verão. De acordo com os dados dos últimos 20 anos da estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RJ), a mais próxima ao local do experimento, a precipitação média anual é de 1245 mm com o período mais seco nos meses de junho, julho e agosto e excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média de fevereiro, que é o mês mais quente, é de 27,0 °C, a de julho, o mês mais frio é 20,6 °C e a temperatura média anual é de 23,7 °C. O tempo médio de insolação anual é de 2527 horas, a média anual da evaporação é de 1576 mm e a umidade relativa do ar é de 69%.

3.2. Caracterização dos biossólidos provenientes de três ETES da região metropolitana do Rio de Janeiro

Foram utilizados biossólidos provenientes de três estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do Rio de Janeiro (ETE de Alegria, ETE Ilha e ETE Sarapuí), disponibilizados pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (Nova CEDAE).

A ETE Alegria se localiza na rua Projetada IV, fundos com a rua Carlos Seidi, nº 950, bairro Caju, Rio de Janeiro, tendo como coordenadas 22°52'17"S e 43°13'45"W.

A ETE Ilha do Governador se localiza na Rua Domingos Mondin, 315, Tauá, Ilha do Governador, RJ e tem como coordenadas 22°47'44"S e 43°11'15"W.

A ETE Sarapuí se localiza na Rua Demóstenes, s/nº, Jardim Glaucia, Belford Roxo e tem como coordenadas 22°45'21"S e 43°20'42"W.

Primeiramente, foi feita uma caracterização dos processos de tratamentos de esgoto de cada uma das três ETES fornecedoras de biossólidos para este estudo..

3.3. Instalação do experimento e produção das mudas

De posse dos três biossólidos, foram confeccionados os substratos para a produção de mudas florestais. Para a composição dos tratamentos (Tabela 1) foram utilizados os biossólidos provenientes das três ETES, além de um substrato comercial. Os biossólidos, assim como o substrato comercial, foram misturados à fibra de coco (volume/volume). Os recipientes utilizados foram tubetes com capacidade de 280 cm³.

Tabela 1: Substratos utilizados para produção de mudas de *Lafoensia pacari* no viveiro florestal da UFRRJ.

Tratamentos	Composição do substrato (V/V)
T1	83% de Biossólido (ETE Alegria) + 17% de fibra de coco
T2	83% de Biossólido (ETE Ilha) + 17% de fibra de coco
T3	83% de Biossólido (ETE Sarapuí) + 17% de fibra de coco
T4	83% de Substrato comercial + 17% de fibra de coco

Após a mistura e preparo dos substratos, foi realizada a análise de suas propriedades físicas, em laboratório da UFRRJ, utilizando-se a metodologia proposta por Silva (1998), avaliando a microporosidade, a macroporosidade, a porosidade total, a capacidade de retenção de água e a densidade dos substratos formulados.

Para a análise das propriedades físicas dos substratos, inicialmente os tubetes foram identificados e tiveram seus volumes determinados. Em seguida, foram preenchidos manualmente e o substrato foi compactado com batidas para o adensamento das partículas. Depois os tubetes foram submetidos à saturação com água por uma hora; em seguida o substrato foi drenado por 30 minutos e, depois, quando necessário, completou-se o volume dos tubetes com mais substrato, para compensar a acomodação inicial do mesmo e retornaram-se os tubetes para a caixa de água por mais uma hora para saturar novamente. Seguindo, procedeu-se à primeira pesagem (saturado) em que o tubete foi levantado e o orifício do fundo foi vedado com fita adesiva para não drenar a água no seu interior. Em seguida, acrescentou-se água com bureta até o limite da borda do tubete. Enxugou-se a água aderida na superfície externa do tubete com papel absorvente e o tubete foi pesado.

O próximo passo foi a drenagem dividida em etapas, a primeira com o tubete suspenso, com a superfície de drenagem livre, por uma hora. Depois, os tubetes foram mantidos em drenagem com o fundo em contato com folhas de papel jornal e uma lâmina de espuma plástica por mais 12 horas. A segunda pesagem (drenado) foi feita retirando os tubetes do suporte e imediatamente foram pesados. Em seguida, o substrato drenado foi transferido para cápsulas de alumínio com tampa previamente identificada e tarada, após sendo levadas à estufa a 105°C, por 24 horas.

A terceira pesagem (a seco) foi feita após a retirada das cápsulas da estufa, as quais foram postas no dessecador para esfriar e para determinação da macro e microporosidade, capacidade de retenção de água e densidade. Para esses cálculos foram utilizadas as equações:

$$\text{Macroporosidade (\%)} = [(A-B) / C] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Microporosidade (\%)} = [(B-D-E) / C] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Porosidade Total (\%)} = \text{Macroporosidade} + \text{Microporosidade} \quad (3)$$

$$\text{Capacidade de Retenção de Água (cm}^3\text{/50 cm}^3\text{)} = B-D-E \quad (4)$$

$$\text{Densidade} = (D-E) / C \quad (5)$$

Em que:

A= peso do substrato encharcado,

B = peso do substrato drenado,

C = volume do container*,

D = peso do substrato seco;

E = peso do container*.

* tubetes de polipropileno com capacidade de 50 cm³

Como forma de verificar a influência dos diferentes bio-sólidos na formação de mudas de espécies florestais, foi utilizada *Lafoensia pacari* (dedaleiro), uma espécie florestal nativa da Mata Atlântica, utilizada em projetos de recomposição florestal.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com os quatro tratamentos, em quatro repetições, sendo cada parcela composta por 12 plantas.

Os tubetes foram dispostos em bandejas de plástico com capacidade para 54 recipientes, alocados em canteiro suspenso. Os tubetes foram preenchidos manualmente, com substrato previamente umedecido, facilitando a compactação e acomodação no interior do recipiente.

A semeadura foi realizada diretamente nos tubetes, onde foram produzidas as mudas contendo o substrato de cada tratamento. Em cada tubete foram semeadas de duas a quatro sementes. Até os 20 dias após a semeadura, as bandejas ficaram cobertas com sombrite e depois levadas a pleno sol.

Após a germinação e crescimento inicial das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula por recipiente. A irrigação do viveiro foi feita por sistema de microaspersão, até três vezes ao longo do dia, dependendo das condições climáticas existentes.

A partir dos 45 dias após a semeadura foram realizadas avaliações quinzenais da altura da parte aérea (H), com uso de régua graduada (cm) e do diâmetro do coleto (DC), com uso de paquímetro (mm). Essas avaliações foram realizadas até as mudas completarem três meses após a semeadura.

Ao fim do período experimental (90 dias após a semeadura), foram selecionadas quatro mudas de cada parcela para avaliação da matéria seca da parte aérea e do sistema radicial. As mudas foram selecionadas de acordo com as médias apresentadas de altura e diâmetro de coleto em cada parcela. Os materiais foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada, onde permaneceram a 65°C durante 72 horas, sendo em seguida pesados em balança de precisão para obtenção dos valores para matéria seca.

Com base nos parâmetros morfológicos obtidos na última avaliação realizada, foram calculadas as relações entre a altura da parte aérea e o diâmetro de coleto (H/DC), entre a matéria seca da parte aérea e a matéria seca do sistema radicial (MSPA/MSR), bem como o Índice de Qualidade de Dickson, conforme a fórmula proposta por Dickson *et al.* (1960).

$$IQD = MST \div [(H / DC) + (MSPA / MSR)]$$

Em que:

MST é a matéria seca total;

H é a altura da parte aérea;

DC é o diâmetro do coleto;

MSPA é a matéria seca da parte aérea;

MSR é a matéria seca do sistema radicial.

Os dados referentes à última avaliação (H, DC, H/DC, MSPA, MSR, MSPA/MSR, MST e IQD) foram submetidos à análise de variância ($P < 0,05$). Quando foram detectadas diferenças significativas, os mesmos foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Foi utilizado o software SAEG – Sistema de Análises estatísticas e genéticas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos tratamentos de esgoto em três estações de tratamento da região metropolitana do Rio de Janeiro

De maneira geral, o esgoto é formado por 99,5% de água e 0,5% de resíduos sólidos, como areia, lixo e matéria orgânica. O trabalho da estação de tratamento é separar esse 0,5% de resíduos sólidos presentes na água, processo que dura entorno de 24 horas. A primeira etapa, denominada tratamento preliminar é composta de processos físicos que duram cerca de duas horas. O esgoto chega à estação abaixo do nível da superfície e passa por um gradeamento grosseiro: grades retêm o lixo mais grosso (pedaços de pau, garrafas pet etc.). Esse esgoto depois de gradeado é bombeado por uma elevatória para o nível da superfície, onde há um gradeamento mais fino. Portanto, após este gradeamento fino, sobram areia, matéria orgânica e resíduos finos no esgoto. Como a areia afunda muito rapidamente, a etapa seguinte é separá-la em desarenadores. A areia é retirada do fundo por um raspador, jogada em caçambas pela rosca de Arquimedes e segue para aterros sanitários junto com o lixo retirado nas duas fases do gradeamento.

A segunda etapa é denominada tratamento primário. Depois de retirada a areia, o esgoto segue para os decantadores primários, onde alguns materiais vão se sedimentar, formando um lodo no fundo dos tanques, e outros, como óleos e gorduras, vão flutuar, a chamada espuma. Lâminas raspadeiras empurram as gorduras e os óleos para uma extremidade e o lodo sedimentado para a outra extremidade. O material separado é retirado por bombas. A partir desse momento, o processo segue dois caminhos, a fase líquida e a sólida.

Na fase líquida, começa o tratamento secundário. O líquido resultante do tratamento primário é coloidal, cheio de matéria orgânica que não sedimenta em processos físicos. Nos tanques de aeração, o que era coloidal é transformado em flocos, que podem ser retirados com maior facilidade mais à frente, por sedimentação. Para isso, é necessário um processo químico, mais caro e mais perigoso, por causa do transporte dos produtos, ou um processo biológico, mais barato.

No tanque de aeração os microorganismos fazem a digestão da matéria orgânica e a transforma em flocos, para que ela possa sedimentar.

Do tanque de aeração, o esgoto sem lodo e espuma e com o material orgânico digerido vai para os decantadores secundários, que reduzem cerca de 95% da carga poluidora da água.

Uma parcela do lodo que resulta do decantador secundário, que é um lodo biológico, retorna para o tanque de aeração, para alimentar o processo anterior. A maior parte do lodo secundário entra na centrífuga que o transforma num lodo mais dispersado

O resto do lodo primário, ainda muito aquoso, segue para os adensadores, que o tornam mais consistente. O lodo primário, o secundário e a espuma são bombeados para os digestores, que, também por um processo biológico semelhante ao dos aeradores, utilizando microorganismos anaeróbicos, são transformados em um material mais inerte. O resultado deste processo de digestão é lodo inerte digerido, em um volume menor, água e gás metano. Esse lodo é muito aquoso ainda, tem mais de 95% de umidade e não pode ir para o aterro sanitário, que só aceita material com até 70% de umidade. Ele precisa ser transformado em matéria pastosa, e por isso passa por processo de centrifugação, que o deixa com 70% de umidade.

Na ETE Alegria, todo o processo é biológico. Microorganismos aeróbicos são colocados nos tanques de aeração e, como precisam de ar para sobreviver, são alimentados

por um soprador. Esse lodo é reduzido ainda mais, nos secadores térmicos, que são alimentados pelo gás metano originário da etapa anterior (Tabela 2).

Na ETE Ilha (Ilha do Governador), o tipo de tratamento também é secundário e o sistema tecnológico de tratamento é lodo ativado. A estabilização acontece por estabilização biológica em biodigestores, em que o lodo secundário entra em uma centrífuga que o transforma num lodo mais dispersado, como na ETE Alegria. Na ETE Ilha, o lodo é reduzido nos leitos de secagem (Tabela 2).

Na ETE Sarapuí, o tipo de tratamento também é secundário e o sistema tecnológico de tratamento é lodo ativado. A estabilização acontece por estabilização química, com o uso de polímeros, para a redução do volume de lodo. Após esse processo o lodo será reduzido ainda mais, nos secadores térmicos, que são alimentados pelo gás metano originários da etapa anterior (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização de três Estações de Tratamento de Esgoto da região metropolitana do Rio de Janeiro

Estações de tratamento de esgoto	Tipo de tratamento	Sistema tecnológico de tratamento	Destino	Tipo de tratamento do lodo
ETE Alegria	Secundário	Lodo ativado	Aterro sanitário e produção de mudas	Estabilização biológica em biodigestores, centrifugação e secagem térmica.
ETE Ilha	Secundário	Lodo ativado	Aterro sanitário e produção de mudas	Estabilização biológica em biodigestores, centrifugação e leitos de secagem.
ETE Sarapuí	Secundário	Lodo ativado	Aterro sanitário e produção de mudas	Estabilização química com polímeros e secagem térmica.

O esgoto tratado pelas três ETE's é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais, não contendo resíduos industriais.

Durante todo o tratamento, um laboratório de controle de bioquímica e bacteriologia monitora a qualidade do efluente. Níveis de pH da água, cloreto, presença de sólidos voláteis e totais, amônia, fósforo etc., são examinados pelos técnicos da NOVA-CEDAE. Ao final de cada dia, o laboratório passa a informação online para a estação para certificar que a água está tratada, seguindo as normas estabelecidas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ).

4.2. Características físicas dos substratos utilizados para a produção de mudas de *Lafoensia pacari*.

De um modo geral, ficou evidente a melhoria nas propriedades físicas dos substratos T1 e T2, em razão da utilização do bio sólido como um dos constituintes (Tabela 3), de acordo com valores propostos por Gonçalves e Poggiani (2005).

Tabela 3: Características físicas dos substratos utilizados para a produção de mudas de *Lafoensia pacari*.

Trat.	Macro.	Micro.	Porosidade total (%)	Capacidade de Retenção de água $\text{cm}^3/50\text{cm}^3$	Densidade (g.cm^{-3})
T1	15,78	55,91	71,69	27,96	0,25
T2	21,82	44,06	65,87	22,03	0,26
T3	29,99	32,03	62,02	16,01	0,45
T4	31,80	33,81	65,61	16,90	0,18

Em que: trat. (tratamentos); macro. (macroporosidade); micro. (microporosidade).

Para a microporosidade do substrato, as maiores médias foram evidenciadas nos tratamentos que foram utilizados biossólidos obtidos das ETEs Alegria e Ilha (T1, T2), com valores entre 55,91 e 44,06%, respectivamente.

A capacidade máxima de retenção de água acompanhou os resultados de microporosidade, sendo que os tratamentos T1 e T2 apresentaram os maiores valores (27,96 e 22,03%, respectivamente), em relação aos outros tratamentos. Resultados obtidos por Almeida (2005), com substratos diferentes mostram valores médios de capacidade de retenção de água entre 14,8 e 50,4%. Vale ressaltar que as características de microporosidade e capacidade de retenção de água são altamente correlacionadas.

Os valores médios de porosidade total foram maiores nos tratamentos T1, T2 e T4, apresentando valores entre 71,69 e 65,61%. O tratamento T3 apresentou o menor valor, 62,02. Carrijo et al. (2002) recomendam que o substrato ideal deve possuir, dentre outras características, porosidade acima de 85%.

Os valores médios de densidade nos tratamentos T1, T2 e T3, variaram entre 0,26 e 0,45 g.cm^{-3} . O tratamento composto pelo substrato comercial apresentou a menor densidade em relação aos demais tratamentos, com valor de 0,18 g.cm^{-3} e uma alta macroporosidade, 31,80%.

O substrato formulado à base do biossólido de Sarapuí (T3) apresentou a maior densidade dentre os substratos analisados. O alto valor de densidade no tratamento T3 pode ser explicado pelo tipo de tratamento utilizado na estação de tratamento, que utiliza polímeros na estabilização química do lodo de esgoto, o que pode ter influenciado nas propriedades físicas do substrato, elevando sua densidade. O aspecto granular do biossólido de Sarapuí elevou a densidade, que apesar de apresentar valores de capacidade de retenção de água dentro dos limites propostos por Almeida (2005), seu alto valor de densidade, 0,45 g.cm^{-3} , faz com que suas contribuições em termos de peso sejam muito altas. O biossólido proveniente da ETE Alegria possui granulometria mais fina, com uma maior superfície específica, enquanto o biossólido da ETE Ilha apresenta uma granulometria maior, a diferença nos tipos de tratamentos de secagem influencia no tipo de grânulo de cada biossólido.

Valores de densidade global encontrados por Almeida (2005) para substratos à base de casca de pinus e vermiculita, casca de arroz carbonizada, fibra de coco e vermicomposto, variaram de 0,21 a 0,37 g.cm^{-3} , indicando que diferentes misturas podem resultar em características semelhantes dos substratos. Somente os tratamentos T1 e T2 estão dentro da faixa sugerida por Almeida (2005).

Segundo Gongalves e Pogiani (2005) os substratos leves, de baixa densidade, como os materiais incinerados e a vermiculita, elevam a macroporosidade das misturas e reduzem a capacidade de retenção de água do substrato.

4.3. Produção de mudas de *Lafoensia pacari*

Com relação ao crescimento das mudas de *L. pacari* (Figura 1), a tendência do maior crescimento em altura ao longo do processo de produção foi observada com o uso dos bioossólidos, provenientes da ETE Ilha e Sarapuú, enquanto o substrato comercial apresentou mudas com tendência de serem inferiores às mudas dos demais tratamentos.

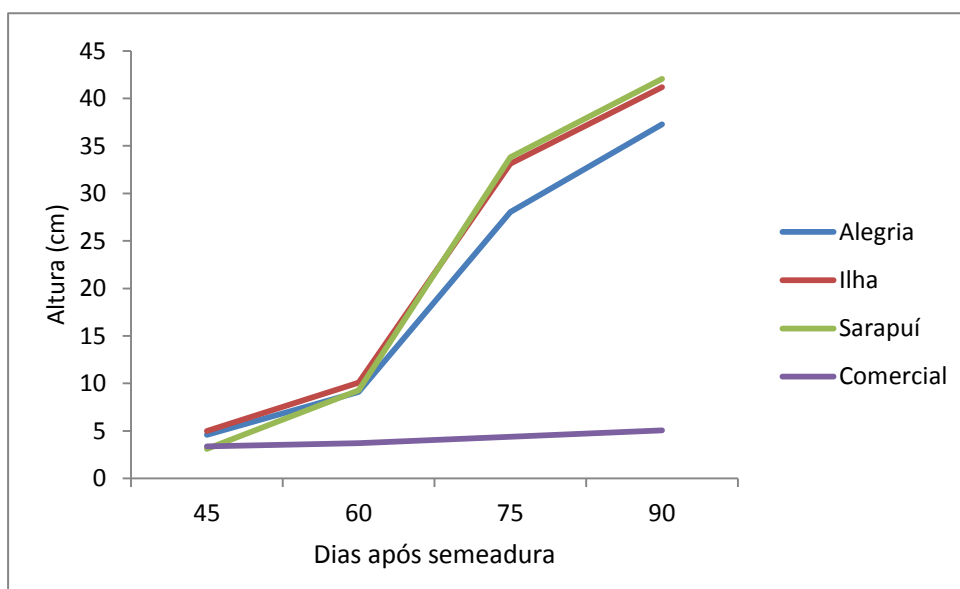


Figura 1: Crescimento em altura da parte aérea de mudas de *Lafoensia pacari* (dedaleiro), produzidas em diferentes substratos.

O bioossólido, segundo Jorge et al. (1991), é comprovadamente um excelente fornecedor de matéria orgânica e nutrientes às plantas. Os altos teores de nutrientes e matéria orgânica na composição desse resíduo podem ter contribuído para o maior crescimento das mudas, pois, nos estágios iniciais de crescimento das mudas, são requeridos elevados teores de N e P (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003; PELISSARI, 2009), atuando no arranque inicial do crescimento da parte aérea.

Ao longo do processo de produção, o maior crescimento em diâmetro de coleto também foi observado quando se utilizou os bioossólidos (Figura 2). Assim como para a altura, os bioossólidos provenientes das ETES Alegria, Ilha e Sarapuú, foram os que proporcionaram os maiores valores para o diâmetro do coleto. Segundo Daniel et al. (1997), o diâmetro do coleto é o parâmetro morfológico mais indicado para estimar a capacidade de sobrevivência das mudas no campo, devendo ser maior que 2,0 mm para mudas de *Eucalyptus grandis* Hill, aos 90 dias após semeadura. Somente o tratamento T4 não apresentou mudas com valores de diâmetro de coleto dentro dos valores propostos por Daniel et al. (1997), sendo, portanto, uma muda de menor qualidade.

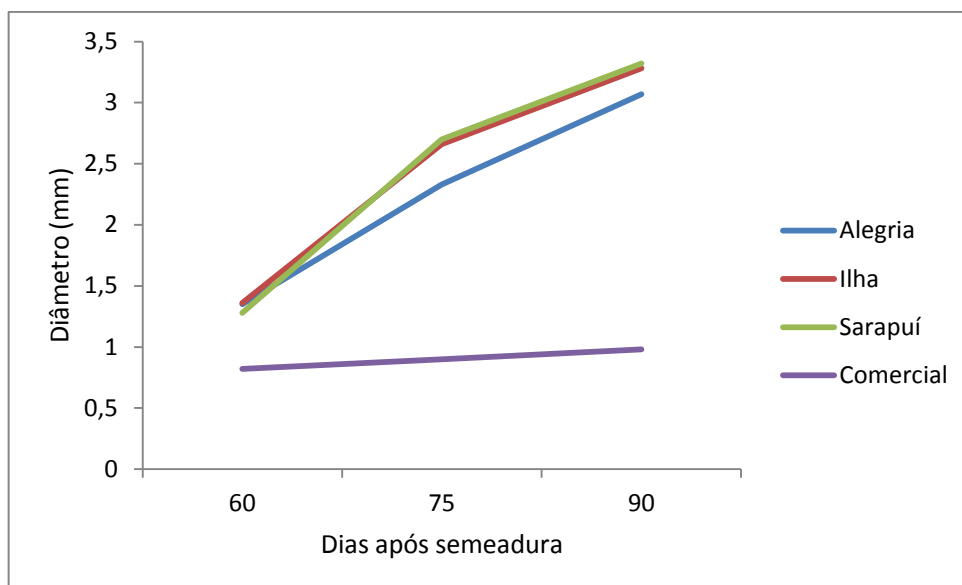


Figura 2: Crescimento em diâmetro de coleto de mudas de *Lafoensia pacari* (dedaleiro), produzidas em diferentes substratos.

A superioridade dos tratamentos T1, T2 e T3, ocorreu, provavelmente, devido à maior concentração de matéria orgânica. Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), o biossólido é considerado fonte de matéria orgânica, sendo responsável pela retenção de umidade e fornecimento de nutrientes. Os teores de nutrientes presentes nos substratos adicionados com matéria orgânica confirmam os dados encontrados por de Trigueiro e Guerrini (2003), ou seja, que a produção de mudas produzidas em substrato contendo biossólido é viável e promissora.

Em relação às características morfológicas avaliadas aos 90 dias após a semeadura (Tabela 4), verificaram-se pela análise de variância, diferenças estatísticas entre médias dos tratamentos. Para a variável altura da parte aérea, os maiores valores obtidos foram encontrados nas mudas produzidas com os compostos à base de biossólido da ETE Ilha e Sarapuí, tendo valores médios de 41,20 e 42,05 cm respectivamente, proporcionando alturas das mudas estatisticamente superiores às obtidas, tanto com o composto da ETE Alegria (37,26 cm), quanto o substrato comercial (5,07 cm). Este por sua vez, apresentou os menores valores.

Tabela 4: Características morfológicas de mudas de *Lafoensia pacari*, aos 90 dias após a semeadura, em função do substrato de produção utilizado.

Tratamentos	T1	T2	T3	T4
Altura (H) (cm)	37,26 b	41,19 a	42,05 a	5,07 c
Diâmetro (DC) (mm)	3,07 a	3,28 a	3,32 a	0,98 b
H/DC	12,13 a	12,53 a	12,67 a	5,16 b
MSPA (g)	2,10 b	2,81 a	2,72 ab	0,40 c
MSR (g)	0,78 a	0,72 ^a	0,60 b	0,04 c
MSPA/MSR	2,69 b	4,66 a	3,77 ab	0,84 c
IQD	0,19 a	0,21 a	0,19 a	0,01 b

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

Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), uma das utilizações do bio-sólido compreende o fornecimento de matéria orgânica na composição de substratos para formação de mudas florestais, apresentando teores razoáveis de nutrientes, com destaque para nitrogênio (N) e fósforo (P).

Gonçalves e Poggiani (1996) testaram mais de 50 substratos, nas suas formas simples e em misturas, e observaram que os substratos mais ricos em composto orgânico propiciaram melhor crescimento das mudas, com boa formação do sistema radicular (bem aderido ao substrato e firme) e melhor balanço nutricional.

Para obter mudas de espécies florestais de boa qualidade, Gonçalves *et al.* (2000), recomendam limites de altura entre 20 e 35 cm. Maas (2010) encontrou valores médios para altura de até 30,96 cm para mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (timburi), utilizando tubetes de 180 cm³, valores próximos aos encontrados nos tratamentos T1, T2 e T3.

Com relação ao diâmetro do coleto, entre os maiores valores para este parâmetro, os substratos compostos à base de bio-sólido apresentaram mudas com valores entre 3,32 e 3,07 mm, indicando valores estatisticamente superiores aos obtidos em mudas com o substrato comercial, 0,98 mm (Tabela 4). Esses resultados demonstram que os compostos à base de bio-sólido possuem boas características físicas e nutricionais, creditando a adição do bio-sólido como um efeito positivo em relação à variável diâmetro de coleto, obtendo mudas com maior probabilidade de sobrevivência quando levadas a campo.

Comparando os resultados de diâmetro de coleto deste estudo com os da literatura, observou-se que os valores máximos se situaram dentro da faixa descrita por José *et al.* (2005), que recomendam que mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia*) e mutamba (*Guazuma ulmifolia*) apresentem cerca de 25 cm para altura e 3,0 mm para o diâmetro do coleto, aos 90 dias após a repicagem.

Relacionando-se as características morfológicas altura e diâmetro do coleto, obtém-se um importante índice, que avalia o equilíbrio de crescimento das mudas, denominado índice de robustez (CARNEIRO, 1995). A avaliação deste índice é de grande importância para determinar o quão delgada é a muda produzida.

Os resultados obtidos para o índice de robustez (H/DC), nos tratamentos com bio-sólido, variaram entre 11,61 e 13,72. Já, para o substrato comercial, as mudas apresentaram valores médios de 5,16.

Conforme recomendação de Carneiro (1995), a relação H/DC deve situar-se entre 5,4 e 8,1, para demonstrar equilíbrio de crescimento entre a altura e o diâmetro das mudas. Com base nisso, somente o substrato comercial T4, enquadrar-se-ia na faixa considerada adequada. Entretanto, o tratamento T4 não obteve bons resultados nas demais características avaliadas, sugerindo que a faixa recomendada por Carneiro (1995), pode não ser a mais adequada, já que as mudas de *L. pacari* produzidas nos substratos com maior relação H/DC são, também, as que possuem melhores condições de serem levadas ao campo.

Os maiores valores de matéria seca da parte aérea foram encontrados nas mudas produzidas nos substratos compostos à base de bio-sólido da ETE Ilha, com valores médios de 2,81 g e ETE Sarapuí, com valores médios de 2,72 g não diferindo estatisticamente, porém superiores às mudas produzidas no substrato comercial.

Para a produção de matéria seca de raiz, o substrato comercial apresentou mudas com menores médias (Tabela 3). A maior matéria seca do sistema radicular foi encontrada no composto das ETE Alegria e Ilha, encontrando valores médios de 0,78 g e 0,76 g, não diferindo estatisticamente. O menor crescimento das raízes do substrato comercial pode ser explicado, provavelmente, pela carência de nutrientes. O uso de bio-sólidos como substrato pode ter reduzido a lixiviação de nutrientes, e melhorou a capacidade de retenção de água, resultando em mudas mais vigorosas.

Segundo Caldeira et al. (2011), a MSPA/MSR é um índice de qualidade considerado importante na avaliação de mudas que irão a campo, pois a matéria seca aérea das mudas não deve ser muito superior à matéria seca de raízes, já que pode ocasionar possíveis problemas na sustentação das plantas e ou na absorção de água pela raiz. Caldeira et al. (2007), defendem que a relação MSPA/MSR deve ser de, no máximo, 2:1, para demonstrar o bom equilíbrio de crescimento entre a parte aérea e a raiz. A melhor relação encontrada para MSPA/MSR dentre os tratamentos com biossólido foi no tratamento T1, com valores médios de 2,69.

Para o índice de qualidade de Dickson (Tabela 4), o melhor resultado foi obtido em mudas produzidas com biossólido com valores médios variando de 0,19 a 0,21. O tratamento T4 apresentou valores médios de 0,01, sendo estatisticamente inferior aos demais.

O maior valor do índice de qualidade de Dickson (IQD), indica melhor qualidade de mudas. Hunt (1990) defendeu que o valor mínimo do IQD para avaliação da qualidade das mudas deve ser de 0,20. Entretanto, o autor fez essa análise baseado na qualidade de mudas das espécies *Pseudotsuga menziessi* e *Picea abies*, podendo não ser o mais indicado para a espécie do presente estudo.

Os resultados obtidos para o IQD comprovam que a utilização de biossólido proporcionou melhor distribuição de assimilados na planta, mostrando que este resíduo é adequado para a produção de mudas de *Lafoensia pacari*, quando comparado ao o substrato comercial. Segundo Caldeira et al. (2007), o IQD pode variar em função da espécie, manejo das mudas no viveiro, tipo e proporção do substrato, volume do recipiente e, principalmente, da idade em que a muda foi avaliada.

Os resultados mostraram que o biossólido pode ser utilizado em viveiros para produção de mudas da espécie estudada, pois todas as plantas se mostraram saudáveis, vigorosas, com bom crescimento, boa sobrevivência durante a fase de viveiro, sem deficiência ou toxidez de nutrientes aparente. Além disto, o crescimento do sistema radicial foi favorecido nos tratamentos com o uso de biossólido, o que é uma característica desejável para maior sobrevivência das mudas no campo.

5. CONCLUSÃO

O uso de biossólido na composição do substrato para produção de mudas de *L. pacari* é uma alternativa viável para a disposição final desse resíduo. Atrelado a esse fato, todos os tratamentos com biossólido em sua formulação proporcionaram boas características físicas aos substratos e maior crescimento das mudas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. S. **Avaliação morfológica de mudas de *Allophylus edulis* (A. St. Hill., A. Juss. e Cambess.) Radl. (vacum) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira) produzidas em diferentes substratos.** 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALTAFIN, V. L. et al. Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1, p. 45-50, 2004.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema.** 1999. 278f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

BACKES, P. IRGANG, B. **Árvores cultivadas no Sul do Brasil: guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas.** 1ª ed. Porto Alegre. Ed. Paisagem do Sul, 2004. 204p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

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

CALDEIRA, M. V. W. et al. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **AMBIÊNCIA**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 311-323, 2009.

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

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

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. de S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: recomendações silviculturais de espécies florestais.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Colombo: EMBRAPA/CNPQ, v. 1, 2003, 1039p.

CASSINI, S. V. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do Biogás.** In. ABES/Rima. Rio de Janeiro. p. 1-9. 2003.

CETESB. **Aplicação de lodo de sistema de tratamento em áreas agrícolas: critério para projeto e operação (manual técnico).** São Paulo. 32p. (CETESB NORMA P 4230). 1999.

CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.** Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, nº. 167, p. 141-146. 2006.

DANIEL, O. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill, em tubetes. **Revista de Ciências Agrárias**, Viçosa, v.1, n.2, p.18-22, 1997.

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

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2ª ed. Rio de Janeiro: EMPRAPA-CNPS, 1997. 212p.

GIBSON, T.S. et al. **Soil carbon sequestration utilizing recycled organics.** Sydney: NSW Agriculture, 2002. 95p.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N.; COUTO, L. Produção de mudas de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 15-22, 1996.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.6, p.655-664, 2002

GOMES, J.M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada.** UFV: Caderno didático 72, 2004. 116p.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM).

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. **Biossólido obtido do lodo de esgotos aumenta produtividade em florestas de eucaliptos - Boletim n.º 1540.**

GONÇALVES, R. F. **Caracterização, técnica de remoção e reciclagem agrícola do lodo de lagoas de estabilização.** Curitiba: PROSAB/FINEP, 1998. (Edital 01/96).

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: ESALQ/USP, p.309-350, 2000.

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

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**, Botucatu, v.28, n. 6 p. 1069-1076, 2004.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200. 1990. Roseburg: **Proceedings...** Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p.218-222.

ILHENFELD, R. G. K.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. **Higienização do lodo de esgoto. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Brasil, p. 34-45, 1999.

JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista brasileira de ciências do solo**, Londrina, v. 15, n. 3, p. 237-240, 1991.

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

KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Genesis, 2000. 312p.

LIRA, et al. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p.207-216, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Vol. 1, 3ª. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 352p.

LORENZI H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Vol. 2, 3ª. ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002. 351p.

MAAS, K. D. B. **Biossólido como substrato na produção de mudas de timburi.** 2010. 46f. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal do Mato Grosso. Mato Grosso, Cuiabá.

MELO, E. F. R. Q. Alterações nas características químicas do solo de uma área degradada em recuperação. In: Balensiefer, M.; Araújo, A.J.; Rossot, N.C. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO 1., E SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., **Anais...** 1994, Curitiba. N Curitiba: FUPEF, 1994. p.371- 81.

MESQUITA, M. M. F.; PEREIRA NETO, J. T. A compostagem no atual panorama da gestão de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente Magazine**, Lisboa, v.25, n. 1, p.21-23, 1992.

MILANO, M. S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba/Pr.** 1984. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MORAIS, S. M. J. et al. Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare (SANEPAR)**, Curitiba, v.6, n.6, p.44-49, 1997.

NOGUERA, P. et al. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. **Acta Horticulturae**, Valencia, v. 40, n. 517 p. 279-286. 2000.

NOVAES, A. B. **Avaliação morfofisiológica da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em raiz nua e em diferentes tipos de recipientes.** 118f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

PADOVANI, V. C. R. **Composto orgânico de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas.** 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PELLISSARI, R. A. Z. et al. Lodo têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.288-300, 2009.

POGGIANI, et al. Aplicação de biossólido em plantações florestais. In: Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: EMBRAPA, Meio Ambiente, 2000.p. 163-178.

ROSA Jr. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill, em tubetes. **Revista Ciência Agrícola**, Fortaleza,v.1, n. 2, p.18-22, 1998.

SARZI, I. **Produção de mudas de ipê amarelo (*Tabebuia chysotricha* Standl.) em função de substratos e de soluções de fertirrigação.** 2006. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SILVA, M.R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico.** 1998. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SOUZA, E. B. et al. Germinação de sementes de *Adenanthera pavonina* L. em função de diferentes temperaturas e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 437-443, 2007.

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