

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO
VEGETAL**

Fabíola Mendes Braga

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO EM VERMICOMPOSTO COM LODO DE
ESGOTO, RESÍDUOS VEGETAIS E TERRA DIATOMÁCEA**

Montes Claros 2016

FABÍOLA MENDES BRAGA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO EM VERMICOMPOSTO COM LODO DE
ESGOTO, RESÍDUOS VEGETAIS E TERRA DIATOMÁCEA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Regynaldo Arruda Sampaio

Montes Claros

2016

Braga, Fabíola Mendes.

B813p 2018 Produção de mudas de eucalipto em vermicomposto com lodo de esgoto, resíduos vegetais e terra diatomácea / Fabíola Mendes Braga. Montes Claros, MG: Instituto de Ciências Agrárias/UFMG, 2018.
84 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias, 2018.

Orientador: Prof. Reginaldo Arruda Sampaio.

Banca examinadora: Reginaldo Arruda Sampaio, Luiz Arnaldo Fernandes, José Márcio Rocha Faria.

Referências: f: 76-84.

1. Biossólido 2. Substrato 3. Resíduos. I. Braga Fabíola Mendes. II. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais. III. Título.

CDU: 631.4

Fabíola Mendes Braga

**Produção de mudas de eucalipto em vermicomposto com lodo de esgoto,
resíduos vegetais e terra diatomácea**

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Pesquisador Dr. Reginaldo Arruda Sampaio
UFMG

Pesquisador Dr. Luiz Arnaldo Fernandes
UFMG

Pesquisadora Dr. José Márcio Rocha Faria
UFLA

Prof. Dr. Reginaldo Arruda Sampaio
(Orientador)
UFMG

Montes Claros, 26 de fevereiro de 2016

Dedico a minha irmã, Patrícia.

AGRADECIMENTOS

Mais uma vitória sendo alcançada e a meu lado várias pessoas acompanharam a minha história. Agradeço a Deus, Pai infinito que sempre me abençoou nesta caminhada, por todo o seu amor e bênçãos derramadas.

A André Luiz, que me apoiou e incentivou meus estudos. Sou grata.

Aos meus pais, Haroldo e Dalva pelo amor, carinho, incentivo e conselhos; às minhas irmãs Luciana, Daniele, Flávia e Patrícia.

A Pontual Irrigação e todos que fazem parte dela. Todos me ajudaram a sua maneira. Um agradecimento especial a Fernando e Léo, pessoas fundamentais para a concretização deste trabalho e que não mediram esforços para me ajudar.

A Ângela, Anna Regina, Claudiana, Ely Sandra, Heloísa. A Rodrigo e todos os outros colegas de mestrado, pela grande amizade e pela ajuda de sempre.

Ao Laboratório de Resíduos e principalmente Márcio, pela sua atenção, amizade e conhecimentos passados a mim, estando sempre presente. Aos meus grandes amigos Mário Henrique, Izabelle e principalmente a Paulo Cardoso que sempre estavam dispostos a me ajudar, e aos funcionários e estudantes do Laboratório de Solos e do Laboratório de Pesquisa em Agroquímica.

Aos professores do ICA/UFMG que contribuíram de alguma maneira para a minha formação, em especial, Leonardo Tuffi e sua equipe e Cândido que sempre com muita presteza e atenção, me orientou e me auxiliou quando precisei.

Agradeço imensamente ao Professor Reginaldo Arruda Sampaio pela paciência, pelos conselhos e pelo conhecimento que me passou ao longo da orientação;

Aos funcionários, ao apoio financeiro da CAPES, pela bolsa de estudo, e a coordenação da pós-graduação pelo incentivo.

Enfim, toda a vitória até aqui conquistada foi fruto da força de todos vocês. Obrigada!!!

PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO EM VERMICOMPOSTO COM LODO DE ESGOTO, RESÍDUOS VEGETAIS E TERRA DIATOMÁCEA

RESUMO

A busca por aproveitamento de resíduos tem sido a melhor maneira de contribuir para a sustentabilidade ambiental. Unindo o resíduo formado no tratamento do esgoto e o resíduo formado na produção de biocombustível é possível formar um substrato rico em minerais e matéria orgânica por meio da vermicompostagem. Os benefícios químicos do lodo de esgoto (LE) e os benefícios físicos da terra de diatomácea (TD) podem ter ação sinérgica e se tornar ótimos condicionantes do solo para várias culturas, inclusive o eucalipto. Dessa maneira, objetivou-se produzir um vermicomposto a partir de um pré-composto (PC) de lodo de esgoto e podas de jardinagem com diferentes proporções de TD proveniente de processo de fabricação de óleo biocombustível. Os substratos foram acondicionados em recipientes de 100 L juntamente com minhocas *Eisenia foetida* com as seguintes proporções de PC e TD: T1:100%PC e 0%TD, T2: 92,47%PC e 7,53%TD, T3: 84,94%PC e 15,06%TD, T4: 77,41%PC e 22,59%TD e T5: 69,88%PC e 30,12%TD. O experimento no delineamento em blocos casualizados foi constituído de 5 tratamentos e 5 repetições. Transcorridos 4 meses, foram retiradas amostras de cada tratamento e analisados os nutrientes e metais pesados. Um segundo experimento foi implantado com os substratos citados anteriormente e uma testemunha com substrato comercial, no qual foram cultivadas mudas de *Eucalipto urophylla*. O experimento foi feito no delineamento em blocos casualizados, com 6 tratamentos e 5 repetições. Transcorridos 90 dias, foi recolhido uma amostra de cada unidade experimental e levado ao laboratório para as análises de nutrientes e metais pesados e análises físicas na planta, tais como diâmetro do coleto (DC), altura da planta (H), relação DC/H, índice de qualidade de Dickson (IQD) e massa fresca e massa seca da planta. Os resultados foram analisados aplicando-se o

teste de Dunnett para a testemunha e ajustadas às equações de regressão para os demais tratamentos. O vermicomposto de lodo de esgoto, resíduos vegetais e terra diatomácea na proporção de 30,12% v/v atendeu a todos os critérios estabelecidos para uso agrícola e registro e comercialização do produto como composto orgânico, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 375 e nas Instruções Normativas do Ministério da Agricultura (IN SDA 27/2006). De uma maneira geral, concluiu-se que os substratos formados a partir de vermicomposto e TD proporcionaram condições químicas e físicas adequadas e próximas do substrato comercial para o crescimento de mudas de *E. urophylla*.

Palavras-chave: biossólido, substrato, resíduos.

EUCALYPTUS SEEDLINGS PRODUCTION IN VERMICOMPOST WITH SEWAGE SLUDGE, PLANT WASTE AND DIATOMACEOUS EARTH

ABSTRACT

The search for residue recovery has been the best way to contribute to the environmental sustainability. By combining the waste formed in the treatment of sewage and the residue formed in the biofuel production is possible to form a substrate rich in minerals and organic matter by vermicomposting. The chemical benefits of sewage sludge (SS) and the physical benefits of diatomaceous earth (DE) can have synergistic action and become great soil conditioners for various crops, including eucalyptus. In this way, the objective was to produce a vermicompost from a pre-compost (PC) of sewage sludge and prunings of gardening residue with different proportions of DE coming from the process of manufacturing biofuel oil. The substrates were packed in 100 L containers together with *Eisenia foetida* earthworms with the following proportions of PC and DE: T1:100%PC and 0%DE, T2: 92,47%PC and 7,53%DE, T3: 84,94%PC and 15,06%DE, T4: 77,41%PC and 22,59%DE and T5: 69,88%PC and 30,12%DE. The experiment in the randomized block design consisted of 5 treatments and 5 replicates. After 4 months, samples were taken from each treatment and nutrients and heavy metals analyzed. A second experiment was carried out with the above-mentioned substrates, and a control with a commercial substrate, in which *Eucalipto urophylla* seedlings were grown. A second experiment was carried out in a randomized complete block design with 6 treatments and 5 replicates. After 90 days, a sample of each experimental unit was collected and taken to the laboratory for analysis of nutrients and heavy metals and plant physical analyzes, such as stem diameter (DC), plant height (H) ratio DC/M, Dickson quality index (DCI), fresh and dry mass of the plant. The results were analyzed by applying the Dunnett test to the control and adjusted to the regression equations for the other treatments. The vermicompost of sewage sludge, plant residues and diatomaceous earth in the proportion of 30,12% v/v met all criteria established for agricultural use and registration and commercialization of the product as organic compost, as established in the Resolution CONAMA 375 and in the Normative Instructions of the Ministry of Agriculture (IN SDA 27/2006). In general, it was found that the substrates formed from vermicompost and DE provided suitable chemical and

physical conditions and close to the commercial substrate for *E. urophylla* seedling growth.

Keywords: biosolids, substrate, residues.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TD – Terra Diatomácea

LE – Lodo de Esgoto

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária

IN SDA 25/2009 – Instrução Normativa nº25 de 23 de julho de 2009

IN SDA 27/2006 – Instrução Normativa nº27 de 5 de julho de 2006

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Detalhes das parcelas experimentais.....	322
Figura 2 - Capacidade de retenção de umidade nas tensões de 0,1 bar, 0,33 bar, 0,5 bar, 1 bar, 5 bar e 15 bar em função da proporção de terra diatomácea (TD) adicionada no vermicomposto.	444
Figura 3 - Plantio de pepinos para avaliar a fitotoxicidade do vermicomposto produzido por lodo de esgoto e terra diatomácea.....	455
Figura 4 - Experimento montado de mudas de <i>E. urophylla</i>	55

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1** Características químicas, físicas e físico-químicas do lodo de esgoto (LE), pré-composto (PC) e terra diatomácea (TD)..... **344**
- TABELA 2** Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos e físico-químicos analisados no vermicomposto após a adição das distintas proporções de terra de diatomácea **366**
- TABELA 3** Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos e físicos analisados no vermicomposto após a adição das distintas proporções de terra de diatomácea **411**
- TABELA 4** Valores médios para os atributos físicos de mudas de *E. Urophylla* cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea **58**
- TABELA 5** Comparação entre as médias do substrato comercial (SC) e dos tratamentos com vermicomposto (PC) contendo diferentes proporções de terra diatomácea (TD) para a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e relação MSPA/MSR de mudas de *E. urophylla* **5959**
- TABELA 6** Compação entre as médias do substrato comercial (SC) e dos tratamentos com vermicomposto (PC) contendo diferentes proporções de terra diatomácea (TD) para a altura da planta (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura/massa seca da parte aérea (H/MSPA), relação H/DC e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *E. urophylla* **611**
- TABELA 7** Equações de regressão ajustadas para os teores de nutrientes da parte aérea de mudas de *E. urophylla* cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea **633**
- TABELA 8** Teores de nutrientes na parte aérea de mudas de *E. urophylla* cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea **64**
- TABELA 9** Equações de regressão ajustadas para os nutrientes analisados na raiz de mudas de *E. urophylla* cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea..... **665**

TABELA 10 Teores de nutrientes na raiz de mudas de <i>E. urophylla</i> cultivadas em substrato de vermicomposto com diferentes proporções de lodo de esgoto e terra diatomácea	666
TABELA 11 Equações de regressão ajustadas para os nutrientes analisados no substrato de mudas de <i>E. urophylla</i> cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea	66
TABELA 12 Teores de nutrientes no substrato composto por lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea e cultivados com mudas de <i>E. urophylla</i>	67
TABELA 13 Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos analisados em substrato de mudas de <i>E. urophylla</i> cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto com diferentes proporções de terra diatomácea	69
TABELA 14 Condutividade elétrica (CE), pH em água, sódio e densidade aparente (DA) no substrato composto por lodo de esgoto e diferentes proporções de terra diatomácea cultivado em mudas de <i>E. urophylla</i>	710
TABELA 15 Teores de matéria orgânica, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e insolúvel no substrato composto por lodo de esgoto e diferentes proporções de terra diatomácea cultivado em mudas de <i>E. urophylla</i>	71

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Lodo de Esgoto	18
2.2 Compostagem	19
2.3 Vermicompostagem	19
2.4 Terra Diatomácea	21
2.4.1 Caracterização.....	21
2.4.2 Composição.....	22
2.5 Eucalipto.....	23
3 OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo Geral	26
3.2 Objetivos Específicos.....	26
CAPÍTULO 2 – VERMICOMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS VEGETAIS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE TERRA DIATOMÁCEA	27
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Pré-compostagem	31
2.2 Vermicompostagem	31
2.3 Análises de Laboratório	33
2.4 Análise estatística	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4 CONCLUSÃO	46
CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO A PARTIR DE VERMICOMPOSTO DE LODO DE ESGOTO E DIFERENTES PROPORÇÕES DE TERRA DIATOMÁCEA.....	47
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
2.1 Preparo do substrato.....	52
2.2 O plantio de mudas de Eucalipto	53
2.3 Análises de Laboratório	56
2.4 Análise estatística	57
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS.....	73

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO

A intenção de se tratar o lodo de esgoto é a de separar as frações sólidas da líquida para que possam ser devidamente tratadas e lançadas ao meio ambiente, visando causar o menor impacto ambiental possível. O resultado de todo esse processo de tratamento é o acúmulo de minerais e nutrientes, poluentes e contaminantes que são concentrados no subproduto que é gerado, formando assim o lodo de esgoto. Portanto, quanto mais evoluído e mais eficiente o processo de tratamento, maiores serão as quantidades de lodo de esgoto produzidas (CORRÊA *et al.*,2007).

O principal desafio encontra-se em descartar da maneira mais eficiente este subproduto gerado, uma vez que o lodo de esgoto acaba contendo elevados teores de poluentes, e microrganismos patogênicos, além de possuir odor característico. Desta maneira, é constante a busca por meios e técnicas para estabilização deste resíduo para que possa ser reutilizado de alguma forma, dentre estas, o uso agrícola (SILVA; LANDGRAF; REZENDE; 2010).

Uma alternativa bastante comum para estabilização do lodo está na vermicompostagem, que consiste em transformar a matéria orgânica recente em matéria orgânica estabilizada por meio de minhocas, devido a microrganismos existentes no seu aparelho digestivo (SILVA *et. al.*, 2010). Os estudos de Silva *et al.* (2010) apontam que foi possível reduzir a quantidade de ovos viáveis de helmintos, por meio da vermicompostagem, do lodo de esgoto e do solo, além de formar um substrato rico em ácidos húmicos e elevar a capacidade de retenção de água. Silva; Landgraf; Rezende (2010) também encontraram resultados semelhantes, indicando ser formado um substrato com melhores atributos químicos e com elevado potencial agronômico

para ser utilizado na agricultura. Corrêa *et al.* (2007) também comprovaram a estabilização do lodo de esgoto, além de apresentar os benefícios da utilização deste resíduo como matéria prima da vermicompostagem.

Atualmente tem se intensificado os estudos sobre alternativas para melhor utilização das matérias e dos resíduos produzidos, em busca de se promover a sustentabilidade ambiental. Dentre esses estudos, pode-se citar a reutilização da terra diatomácea.

Devido a sua elevada porosidade, característica química inerte, baixa densidade (flutuam na água até a saturação) e condutividade térmica e elevado ponto de fusão, podem ser utilizada para diversas finalidades, sendo bastante utilizada como filtro (Antonides, 1998). Durante a fabricação de biocombustíveis, utiliza-se a terra diatomácea para filtrar o óleo produzido em que é gerado um resíduo de difícil descarte.

Com base nas características acima citadas é possível perceber que a diatomita pode ter grande importância no meio agrícola. Estudos como os de Marínez (2013) indicam o uso da terra diatomácea na agricultura para melhorar as condições físicas e químicas do solo, bem como, mitigar os efeitos da toxicidade de diversos elementos químicos, entre outros. Também, nos estudos de Fernandes *et al.* (2014), foram relatados resultados satisfatórios para diâmetro do coleto em mudas de eucalipto quando cultivado em substrato de lodo de esgoto e terra diatomácea.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as qualidades físicas e químicas de um vermicomposto produzido a partir da mistura de lodo de esgoto e de restos de poda de jardinagem, com adição de diferentes proporções de terra diatomácea, para uso como substrato na produção de mudas de eucalipto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Lodo de Esgoto

O tratamento de esgoto consiste em separar a parte sólida da parte líquida para que o efluente tratado possa ser despejado em outro local de forma que não cause danos ao meio ambiente. Durante esse processo, nutrientes, poluentes e contaminantes são concentrados de maneira a formar um subproduto deste tratamento: o lodo de esgoto. São, portanto, resíduos semi-sólidos de composição predominantemente orgânica, com teores variáveis de componentes inorgânicos, resultante do tratamento de águas residuais domiciliares ou industriais. Dessa maneira, quanto mais eficiente for o processo de tratamento do esgoto, maior será a formação de lodo (ANDRADE, 1999; EPSTEIN, 2003).

O crescimento dos centros urbanos promove o saneamento das cidades, o que elevará a produção de lodo de esgoto, crescendo também a preocupação com a sua disposição adequada (BIONDI, NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI, SILVA, 2006). Apesar de existirem várias alternativas para a disposição final do lodo de esgoto, sua utilização na agricultura é vista como uma das mais promissoras do ponto de vista ecológico, já que promove a reciclagem de nutrientes e a melhora da qualidade física e química do solo, além de ser uma solução de longo alcance para a destinação final deste resíduo (BARBOSA *et al.*, 2007).

Estudos confirmam que aplicações de doses crescentes de lodo de esgoto aumentam os estoques de C-orgânico no solo, assim como a condutividade elétrica, o pH e a CTC. Devido a sua composição rica em matéria orgânica e nutrientes, confere uma série de benefícios, já que contribui para a manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida no lodo de esgoto pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no

solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (OLIVEIRA *et al.*, 2002; DIAS *et al.*,2007).

2.2 Compostagem

A crescente produção de resíduos urbanos vem sendo motivo de muitas pesquisas com o intuito de transformá-los em fonte alternativa de fertilizantes para as plantas, com destaque para os processos de compostagem. Segundo Brasil (2014), a compostagem é definida como a reciclagem dos resíduos orgânicos, sendo feita por meio de uma técnica apropriada que transforma os restos orgânicos em adubo. É parte de um processo biológico que acelera a decomposição do material orgânico e que possui como produto final, o composto orgânico. Para Haug (1993) esta técnica só é alcançada a partir de condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, originadas pelo calor produzido na atividade biológica, em que o produto final é suficientemente estável para ser armazenado e aplicado no solo de maneira que não cause efeitos nocivos ao ambiente. Dessa forma, podemos perceber que se trata de um processo cuidadoso, nos quais são exigidas condições especiais de composição e arejamento para se alcançar os resultados pretendidos, e pode ser considerada como uma forma de recuperação dos nutrientes presentes nos resíduos orgânicos e devolução ao seu ciclo natural, sendo incrementado ao solo para agricultura ou jardinagem, além de contribuir com a redução do lixo produzido pela sociedade e reduzir os gastos com fertilizantes industrializados.

2.3 Vermicompostagem

A vermicompostagem é o resultado da ação detritívora das minhocas, auxiliada pela microflora que existe em seus tratos digestivos, que podem ser utilizadas para transformar a matéria orgânica e para higienização e estabilização de lodo de esgoto,

podendo até esterilizar, dependendo da eficiência do processo (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992; CORRÊA; FONSECA; CORRÊA, 2007).

As minhocas liberam um muco que facilita o trabalho dos microrganismos decompositores, conseguindo alterar qualitativa e quantitativamente a composição das substâncias húmicas, assim como acontece no processo de compostagem. Tal fato é percebido quando este material se encontra estabilizado, em que o carbono é humificado e como consequência melhora as propriedades do solo, como maior capacidade de troca de cátions e retenção de água, além de proporcionar uma mineralização mais lenta. Por isso, este material não deve ser utilizado quando se busca um rápido fornecimento de nutrientes (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992).

Este mesmo autor justifica o fato de serem escolhidas as minhocas da Califórnia (*Eisenia foetida*) pela maioria dos produtores de vermicomposto, uma vez que proliferam rápido, possuem um rápido crescimento e são capazes de proporcionar boa estabilidade a matéria orgânica.

O composto formado altera as propriedades físicas do solo, melhorando a sua estrutura, reduzindo a plasticidade e a coesão, e aumentando a aeração e a retenção de água. Do ponto de vista químico, além de ser fonte de nutrientes para as plantas, eleva o pH, aumenta a retenção de cátions e reduz o efeito nocivo do alumínio trocável, além de aumentar a atividade dos microrganismos do solo (RICCI, 1996). Todavia, Veras; Povinelli (2004) ressaltam que o composto formado não deve ser visto como um substrato que substitui o adubo mineral utilizado normalmente, mas sim uma alternativa viável de melhorar o solo a longo prazo, como um agente condicionante, o que faz com que as plantas aproveitem da melhor maneira o adubo mineral incorporado.

2.4 Terra Diatomácea

2.4.1 Caracterização

Diatomita ou terra diatomácea é uma rocha sedimentar composta pelos restos de esqueletos fossilizados de diatomáceas, plantas e/ou algas unicelulares semelhantes. Seu tamanho pode variar de 10 a 500 microns (LEMONS JR, 1995; CIEMIL, 2014).

De aparência semelhante a um giz, possui característica macia, friável, muito fina, geralmente de cor clara. É altamente porosa, com muito baixa densidade (flutuam na água até a saturação), e são quimicamente inerte. Apresentam baixa condutividade térmica e um elevado ponto de fusão (ANTONIDES, 1998).

Os depósitos dessa terra resultam de uma acumulação, em oceanos ou água doce, de sílica amorfa, compreendendo as paredes celulares das diatomáceas, que são mortas, ou plantas unicelulares aquáticas microscópicas (algas). Os fósseis ou restos esqueléticos de conchas simétricas (denominadas frústulas) se encaixam perfeitamente e variam em tamanho de menos de 1 micrômetro a mais de um milímetro, sendo a faixa de tamanho mais comum de 10 a 200 micrômetros de diâmetro. Possuem uma ampla variedade de formatos, compreendendo desde delicadas formas perfuradas de esferas e cilindros em discos, escadas, penas, até formas semelhantes a agulhas (ANTONIDES, 1998).

No Brasil, o consumo de diatomita e de seus derivados tem aumentado gradualmente, sendo o Estado de São Paulo o maior centro consumidor de diatomita beneficiada. O principal uso é como meio de filtração de uma grande variedade de tipos de bebidas (especialmente cerveja e vinho), açúcar e adoçante, licores, óleos e gorduras de petróleo e processamento, e produtos farmacêuticos. Sua aplicação é crescente quando utilizado como um absorvente industrial para derramamentos (por

exemplo, petróleo e líquidos tóxicos) e para dejetos de animais domésticos. Outra importante e ampla categoria de utilização é como um agente de enchimento, servindo frequentemente duplo propósito, como um extensor e/ou pigmento em achatamento de tintas e revestimentos, de um espessante e/ou agente antiaglomerante, em materiais granulares, um componente multifeito em plásticos e um extensor e/ou portador absorvente para pesticidas secos, catalisadores e outros produtos químicos. Outros produtos significativos incluem como material de isolamento em grandes quantidades; um leve abrasivo em polidores; e um aditivo de sílica em vários compostos, incluindo argamassa de cimento *Portland*, onde é também utilizado pelas suas propriedades pozolânicas (ANTONIDES, 1998, PIMENTEL; PACCOLA, 2007; KLEIN, 2014).

Produtos de diatomita comerciais são oferecidos em uma grande variedade de formas. Os principais fatores são o tamanho, a forma, a disposição e a proporção dos vários tipos de frústulas (especialmente o efeito sobre a taxa de filtração e claridade do produto, e a capacidade de absorção), além do teor de sílica e de várias impurezas, tais como determinados minerais e produtos químicos (especialmente a forma de ferro, uma das principais impurezas), argila, areia e produtos orgânicos (DOLLEY, 2000).

2.4.2 Composição

De acordo com Founie (2006) a análise de amostras secas de terra diatomácea no forno de minério bruto em muitas operações comerciais apontam tipicamente de 80% a mais de 90% de sílica (SiO_2), alumínio (2% a 4%, atribuído principalmente aos minerais argila) e de hematita (0,5% a 2%). A densidade aparente em bloco seco em estufa é 320-640 gramas por litro (g L^{-1}) (comparada com a água em 1000 g L^{-1}) com 80% a 90% de espaços vazios. Afirma ainda que dependendo do minério local pode conter de 10% a 65% de água (2% a 10% na estrutura de opalina). A rocha bruta seca

pode absorver 1,5 a mais de 3 vezes o seu peso de água. Seca em pó, a rocha natural possui uma densidade aparente de 80 até 250 g L⁻¹ e o ponto de fusão varia de 1.400 para 1.750°C (BRANCO, S/D).

Os produtos de diatomita comercialmente mais comuns consistem em partículas de formas irregulares, porosas, de porte fino, tendo uma grande área de superfície e uma absorção líquida de alta capacidade. São bastante inertes quimicamente (especialmente quando o teor de ferro é naturalmente baixo ou alterado por meio de calcinação). Têm um baixo índice de refração, são levemente abrasivas, têm baixa condutividade térmica e com um ponto de fusão relativamente alto. São muito ricos em sílica e podem ser produzidas e entregues a um custo compatível com as aplicações das mais diversas finalidades (DOLLEY, 2000).

2.5 Eucalipto

O eucalipto é uma planta que desenvolveu mecanismos naturais para se adaptar em diversos locais, com funções que a auxiliam a suportar o estresse hídrico e temperaturas adversas, entre outros fatores. Este fato explica a quantidade de espécies na natureza e sua grande dispersão nas regiões de origem (PALUDZYSZYN FILHO, SANTOS, FERREIRA, 2006).

O eucalipto tem sido uma alternativa bastante utilizada para reflorestamento ou como mecanismo para mitigar as mudanças climáticas resultantes do efeito estufa, além de ser bastante utilizado por diversas áreas do consumo humano (PAIXÃO *et al.*, 2006). Sua utilização como matéria prima e a melhoria da qualidade de vida fez crescer, nos últimos anos, o seu interesse de plantio, assim como trabalhos de melhoramento genético para melhor viabilizar e racionalizar o plantio e manejo desta cultura (PALUDZYSZYN FILHO, SANTOS, FERREIRA, 2006).

As mudas de eucalipto podem ser produzidas por meio de sementes ou clones, sendo a madeira posteriormente utilizada para a produção de compensados, serrados e estruturas, ou para fins energéticos (MAFIA *et al.*, 2005; PALUDZYSZYN FILHO, SANTOS, FERREIRA, 2006). Mafia *et al.*(2005) destacam a importância do crescimento das raízes no processo de desenvolvimento das mudas, bem como da parte aérea, já que são fatores primordiais para um bom sucesso do plantio da muda em campo. Para isso, o plantio em tubetes pode influenciar o crescimento das raízes por meio da quantidade, do tipo e do direcionamento das estrias, e a idade das mudas, já que o recipiente no qual a muda é plantada pode restringir ou dificultar o crescimento das raízes laterais e superficiais. Plantas com raízes mais superficiais são mais suscetíveis a sofrerem com as variações climáticas e demandam maior quantidade de água e nutrientes, além de serem mais propícias a sofrerem quedas pelo vento, dificultando a sua fixação.

Da mesma maneira como o recipiente, o substrato e a quantidade de substrato também interferem no bom desenvolvimento da muda. A maior permanência da muda por maiores períodos em viveiros também tende a reduzir a velocidade de crescimento e induzir más formações na raiz (MAFIA *et al.*, 2005). A intenção em se monitorar ao máximo possível a produção das mudas antes de serem levadas ao campo, com características bem definidas e específicas controladas, deve-se ao fato de serem, na maioria das vezes, bem frágeis, necessitando de proteção e manejos especiais a fim de obter maior uniformidade, para que se formem firmes e aptas a enfrentar as condições desfavoráveis do campo (GOMES *et al.*, 2002).

Higashi; Silveira (2004) consideram como ideal para transplante em campo, mudas com idade entre 70 e 90 dias de plantio, podendo se estender até os 150 dias. Já Gomes *et al.* (2002) indicam um período entre 90 e 100 dias como fase ideal para

avaliações de qualidade das mudas para serem levadas ao campo, já que o índice de qualidade de Dickson se estabiliza nessa fase.

Carneiro (1995) também estabelece alguns parâmetros para identificar uma boa qualidade das mudas, que indicam estar aptas a serem transplantadas para o campo, como altura da planta, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e da raiz, relação altura/diâmetro do coleto, relação altura/massa seca da parte aérea, IQD, entre outras. Estando estes parâmetros dentro dos considerados ideais, há uma maior probabilidade de sobrevivência da muda no campo.

Para o cultivo da planta, Abad *et al.* (1992) e Lopes *et al.* (2008) indicam níveis de alguns atributos que são considerados ótimos para que um substrato proporcione um bom desenvolvimento da planta. Para estes autores o substrato deve conter pH entre 5,2 a 6,3; condutividade elétrica entre 0,76 e 1,25 dS m⁻¹; teor de matéria orgânica maior que 80%, relação carbono-nitrogênio entre 20 e 40 e alguns nutrientes assimiláveis, como fósforo (entre 6 e 10 mg kg⁻¹) e cálcio (entre 150 e 249 mg kg⁻¹).

Já para os atributos físicos considerados ótimos em um substrato que propicie correto desenvolvimento da planta, Lopes *et al.* (2008) e Gonçalves e Poggiani (1966) sugerem uma porosidade total maior que 85%; densidade real entre 1,45 e 2,65 g cm⁻³; densidade aparente entre 0,45 e 0,65 g cm⁻³; entre outros parâmetros. Percebe-se portanto, que quanto mais controlado for o ambiente de cultivo da muda, maior será a possibilidade de se adaptarem ao campo, já que serão produzidas mudas mais saudáveis e firmes.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar diferentes proporções de terra diatomácea na vermicompostagem do lodo de esgoto e de resíduos vegetais para fins de produção de substrato para o cultivo de mudas de eucalipto.

3.2 Objetivos Específicos

Avaliar a proporção ideal de terra diatomácea para vermicompostagem com lodo de esgoto e resíduos vegetais;

Avaliar as características físicas e químicas do substrato vermicompostado e sua qualidade em relação às normas IN 25/2009, IN 27/2006 e CONAMA nº 375 do Ministério da Agricultura;

Avaliar o risco de contaminação da planta com metais pesados quando adubado com o vermicomposto de lodo de esgoto, resíduos vegetais e terra diatomácea;

Avaliar a qualidade das mudas de eucalipto cultivadas em substrato obtido a partir do vermicomposto de lodo de esgoto e resíduos vegetais com adição de terra diatomácea.

CAPÍTULO 2 – VERMICOMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS VEGETAIS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE TERRA DIATOMÁCEA

RESUMO

O lodo de esgoto (LE) é produzido em grande escala nas estações de tratamento de esgotos, sendo fundamental o seu descarte adequado, a fim de evitar danos ao meio ambiente. Uma das melhores destinações para o lodo de esgoto é o seu uso na agricultura, uma vez que tem elevado teor de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas. O lodo de esgoto pode trazer maiores benefícios para a agricultura quando misturado a terra diatomácea (TD), que é um resíduo proveniente da filtração de óleo biocombustível, o qual possui baixa densidade e alta retenção de umidade, caracterizando-se como um excelente condicionador físico do solo. Diante do exposto, foi feita uma vermicompostagem de TD em diferentes proporções junto a um pré-composto (PC) de LE e restos de podas de jardinagem. O experimento foi realizado em recipientes de 100 L no delineamento em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições: T1: 100%PC e 0%TD, T2: 92,47%PC e 7,53%TD, T3: 84,94%PC e 15,06%TD, T4: 77,41%PC e 22,59%TD e T5: 69,88%PC e 30,12%TD. O processo de pré-compostagem e vermicompostagem com minhocas vermelha da califórnia (*Eisenia foetida*) duraram ao todo quatro meses. Foi constatado que a terra diatomácea pode ser vermicompostada, mesmo embebida em óleo biocombustível, em quantidades de até 30,12% v/v, sem prejuízos físicos visíveis às minhocas e vegetais. Além disso, observou-se que a adição de até 30,12% v/v de terra diatomácea reduziu a concentração de nutrientes, mas melhorou as propriedades físicas do vermicomposto formado, tornando-o também um excelente condicionador físico para o uso como substrato de plantas e fertilização dos solos. O vermicomposto de lodo de esgoto, resíduos vegetais e terra diatomácea na proporção de 30,12% v/v atenderam aos

critérios estabelecidos para registro e comercialização do produto como composto orgânico e substrato agrícola, conforme a legislação pertinente.

Palavras-chave: biossólido, resíduo, substrato, *Eisenia foetida*.

CHAPTER 2 - SEWAGE SLUDGE VERMICOMPOSTAGE AND PLANT RESIDUE WITH DIFFERENT PROPORTIONS OF DIATOMACEOUS SOIL

ABSTRACT

The sewage sludge (SS) is produced in a large scale sewage treatment plants, with its key proper disposal in order to avoid damage to the environment. One of the best destinations for sewage sludge is its use in agriculture, since it has high content of organic matter and plant nutrients. The sewage sludge may bring greater benefits to agriculture when mixed with diatomaceous earth (DE), which is a residue from the filtration of biofuel oil, which has low density and high moisture retention, characterizing itself as an excellent soil physical conditioner. In view of the above, a vermicompost of DE was made in different proportions with a pre-compost (PC) of LE and gardening pruning residues. The experiment was carried out in 100 L containers in a randomized block design, with 5 treatments and 5 replications: T1: 100%PC and 0%DE, T2: 92,47%PC and 7,53%DE, T3: 84,94%PC and 15,06%DE, T4: 77,41%PC and 22,59%DE and T5: 69,88%PC and 30,12%DE. The pre-composting and vermicomposting process with California red worms (*Eisenia foetida*) lasted in full four months. It was found that diatomaceous earth can be vermicompostada, even soaked in biofuel oil, in amounts of up to 30,12% v/v, without physical damage to earthworms and vegetables. In addition, it was observed that the addition of up to 30,12% v/v of diatomaceous earth reduced the concentration of nutrients, but improved the physical properties of the vermicompost formed, making it also an excellent physical conditioner for use as a substrate of plants and soil fertilization. The vermicomposting of sewage sludge, plant residues and diatomaceous earth in the proportion of 30,12% v/v met the established criteria for registration and commercialization of the product as organic compost and agricultural substrate, according to the pertinent legislation.

Keywords: biosolids, residue, substrate, *Eisenia foetida*.

1 INTRODUÇÃO

O produto final do tratamento de esgoto gera como subproduto o lodo de esgoto. Considerado um resíduo urbano de elevado teor orgânico, semissólido e com componentes inorgânicos, o lodo gerado passa a se tornar um desafio quanto ao seu descarte já que o seu crescimento acompanha o crescimento das cidades fazendo com que seja gerado em grande quantidade (CALDEIRA *et al.*, 2013).

Apesar de ser muito utilizado na agricultura devido a suas propriedades químicas serem excelentes para uso agrônomo, o lodo possui alguns fatores limitantes, como sua patogenicidade, seu elevado teor de metais pesados e odor característico, dentre outros (PAREDES FILHO, 2011).

Existem diversas técnicas para a estabilização do lodo de esgoto, as quais podem fazer com que o produto final seja livre de patógenos e com viabilidade para o uso agrícola. Uma delas é a vermicompostagem, que consegue reduzir as quantidades de ovos viáveis de helmintos por meio do trato digestivo das minhocas, dando ao produto final excelente qualidade agrônoma (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Neste contexto, a resolução CONAMA 375 define critérios e procedimentos para o uso do lodo de esgoto, estabelecendo limites máximos e algumas outras providências que devem ser seguidas para a sua correta utilização (BRASIL, 2006).

Assim, é possível produzir um substrato que atenda às demandas das culturas e à legislação brasileira, e ao mesmo tempo promover a sustentabilidade do meio ambiente. Para essa finalidade, pode-se compostar ou vermicompostar o lodo de esgoto junto com outros resíduos, como a terra diatomácea, a qual é utilizada no processo de filtração de biocombustível. Trata-se de um material de origem sedimentar, sendo constituído basicamente de esqueletos ou frústulas, apresentando-se como um material de granulometria fina, friável e porosa. Por estas características pode auxiliar na melhoria das condições físicas de um substrato, além de ter a capacidade de absorver de 1,5 a 3 vezes o seu peso em água. Sua maior composição é de sílica, embora possa conter também traços de alumínio, ferro e alguns metais (SOUZA, 2011).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo a avaliação da qualidade química e física de vermicomposto obtido a partir da mistura de lodo de esgoto, resíduos de podas de jardinagem e de diferentes proporções de terra diatomácea.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Pré-compostagem

A pré-compostagem foi realizada no período de 21 de setembro de 2014 a 15 de novembro de 2015 em uma instalação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG) em Montes Claros, a partir de lodo de esgoto solarizado e resíduos vegetais na proporção de 3:1 v/v. O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos da Copasa - MG da cidade de Montes Claros, enquanto o material carbonáceo foi recolhido dos restos de podas de jardinagem do Campus.

Este material foi pré-compostado por um período de 7 semanas, monitorando-se a umidade e a temperatura. Além disso, foi feito o revolvimento do material uma vez por semana, conforme recomendação de Ricci (1996). Transcorrido o período indicado, o material ficou pronto para ser utilizado na vermicompostagem.

2.2 Vermicompostagem

O experimento foi conduzido em uma instalação protegida no ICA/UFMG, no período de 16 de novembro de 2014 a 16 de abril de 2015. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições, totalizando 25 unidades experimentais.

Foi utilizado um recipiente de material plástico com capacidade de 100 litros, dispostos com uma leve inclinação para escoamento do possível excesso de água, de maneira que pudesse ser recolhida e retornada ao recipiente. Nestes recipientes foram misturadas diferentes proporções de um resíduo de terra diatomácea produzido pela filtração de biocombustível na Petrobrás S/A de Montes Claros ao pré-composto formado. O resíduo era composto basicamente de terra diatomácea (TD) misturada ao

óleo filtrado e foi medido em proporções que completavam 80 litros de volume final (FIG- 1).

Os tratamentos, na relação v/v, consistiram em:

T1 – 0% TD + 100% pré-composto;

T2 – 7,53% TD + 92,47% pré-composto;

T3 – 15,06% TD + 84,94% pré-composto;

T4 – 22,59% TD + 77,41% pré-composto;

T5 – 30,12% TD + 69,88% pré-composto.



Figura 1 - Detalhes das parcelas experimentais.
Fonte: Arquivo pessoal.

Em cada unidade experimental foi adicionado 1 kg de minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia foetida*). Os recipientes foram cobertos com sombrite, a fim de evitar a evaporação excessiva e o ressecamento do substrato, e de proteger as minhocas de predadores e impedir a sua fuga.

As diferentes proporções de terra de diatomácea (TD) provocaram estresse inicial nas minhocas, principalmente nos tratamentos com 22,59 e 30,12% de TD. Para atenuar o efeito e facilitar a adaptação das minhocas, foi colocada uma camada de 1 cm somente do pré-composto inicial sobre o substrato a ser estudado, a fim de reduzir o contato da mistura contendo a TD embebida em óleo diretamente com as minhocas. Todavia, a camada adicionada foi contabilizada no cálculo da relação entre volumes descrita para os tratamentos. Dominguez e Edward (2010) descrevem os cuidados que se deve tomar com relação ao meio físico que se pode submeter as minhocas, pelo fato de possuírem a respiração cutânea, portanto o óleo contido na TD pode ocasionar

estresse. Logo que foi adicionado o pré-composto, as minhocas se adaptaram rapidamente.

Para manter o ambiente local adequado para a vermicompostagem foram feitos turnos de rega que mantinham a umidade próxima a capacidade de retenção de água indicada por Ricci (1996), retornando para o vermicomposto todo o excesso de água que era drenado. Uma vez por mês esse material era revirado manualmente para evitar danos as minhocas e evitar a compactação, a qual dificulta a aeração e a drenagem.

Transcorridos quatro meses, uma amostra do substrato formado em cada recipiente foi levado para o laboratório de análises de resíduos do Campus da UFMG em Montes Claros para as devidas análises.

Para testar a fitotoxicidade do substrato produzido, foi montado um experimento semelhante ao experimento feito para a vermicompostagem em que foi semeada sementes de pepino (*Cucumis sativus*) e avaliadas as alterações visíveis no desenvolvimento da parte aérea e da raiz da planta.

Foi avaliado, também, por meio do extrator de Richards, a curva de retenção de água, no qual cada amostra de cada tratamento foi submetido às pressões de 0,1; 0,33 0,5; 0,1; 1; 5 e 15 bar.

2.3 Análises de Laboratório

A análise de N foi feita segundo recomendação da Embrapa (1997). Para mensurar a matéria orgânica (MO), o resíduo mineral total, o resíduo mineral solúvel e insolúvel, a capacidade de troca de cátions (CTC) e os teores totais de K, P, S, Na e C, foram utilizadas as metodologias propostas por Alcarde (2009).

Para a densidade aparente, a densidade de partículas, a porosidade total, o pH e a condutividade elétrica, foram utilizados os métodos propostos por Tedesco *et al.* (1995).

As análises de metais como As, Pb, Cr, Co, Ni, Fe, Ca, Mg, Cu, Zn, Ba, Cd, Mn, Al e Se, foram feitas no Laboratório de Pesquisas em Agroquímica – LPA da UFMG, Campus Montes Claros, de acordo com a metodologia EPA-3051. A digestão do material foi feita em aparelho Digestor de Microondas Mars6, e a leitura das concentrações dos metais presentes em cada amostra foi feita em aparelho espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo AA 240, com os seguintes níveis de quantificação: Mn (0,5 a 6 mg L⁻¹), Mg (0,075 a 1 mg L⁻¹), Ca (0,5 a 4 mg L⁻¹),

Al (25 a 200 mg L⁻¹), Fe (1,25 a 15 mg L⁻¹), Cu (0,1 a 10 mg L⁻¹), Zn (0,15 a 1,5 mg L⁻¹), Pb (2,5 a 32 mg L⁻¹), Ba (5 a 80 mg L⁻¹), Cd (0,3 a 3,0 mg L⁻¹), Cr (1,25 a 20 mg L⁻¹), Ni (1 a 20 mg L⁻¹), Co (1,25 a 15 mg L⁻¹), Se (4,25 a 100 µg L⁻¹), As (2 a 50 µg L⁻¹).

TABELA 1

Características químicas, físicas e físico-químicas do lodo de esgoto (LE), pré-composto (PC) e terra diatomácea (TD)							
Parâmetros	LE	PC	TD	Parâmetros	LE	PC	TD
pH - CaCl ₂	6,10	6,10	4,30	Se (mg kg ⁻¹)	0,306	0,226	nq
C org (g kg ⁻¹)	286,2	250,2	482,4	As (mg kg ⁻¹)	0,276	0,246	0,275
N (g kg ⁻¹)	22,02	18,83	0,67	Na (mg kg ⁻¹)	122,36	132,05	199,84
P (g kg ⁻¹)	15,28	15,28	0,64	Cu (mg kg ⁻¹)	195,55	177,45	6,70
K (g kg ⁻¹)	2,31	2,49	Nd	MO (dag kg ⁻¹)	43,60	43,14	49,56
S (g kg ⁻¹)	62,7	61,39	64,32	RMT (dag kg ⁻¹)	56,39	56,85	50,44
Ca (g kg ⁻¹)	2,67	2,53	1,15	RMI (dag kg ⁻¹)	35,53	36,67	49,98
Mg (g kg ⁻¹)	2,68	2,64	2,32	RMS (dag kg ⁻¹)	20,87	20,18	0,46
Mn (mg kg ⁻¹)	94,20	119,25	4,40	CE (dS m ⁻¹)	3,41	4,58	3,28
Ni (mg kg ⁻¹)	25,50	25,25	9,70	DA (g cm ⁻³)	0,57	0,53	0,68
Fe (mg kg ⁻¹)	28.000,00	50.895,00	165,30	CTC (mmol _c kg ⁻¹)	540,0	492,5	387,5
Zn (mg kg ⁻¹)	726,25	613,75	9,85	Relação C/N	13,00	13,29	720,00
Al (mg kg ⁻¹)	6.403,50	6.210,00	769,20	Relação CTC/C	18,87	19,68	8,03

MO = Matéria orgânica, RMT = Resíduo mineral total, RMI = Resíduo mineral insolúvel, RMS = Resíduo mineral solúvel, CE = Condutividade elétrica, DA = Densidade aparente, CTC = Capacidade de troca catiônica, Nd = Não detectado, nq = não quantificado.

Obs. Ba, Cd, Pb, Co e Cr não foram quantificados e Mo não foi detectado.

Fonte: Da autora.

2.4 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ajustadas equações de regressão, testando-se a significância dos coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste F.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da tabela 2 revela que houve redução das concentrações de N, P, Ca e K com o aumento da proporção volumétrica de terra diatomácea (TD) no processo de vermicompostagem de lodo de esgoto e de resíduos vegetais. Tal fato pode ser justificado pelas baixas concentrações destes nutrientes na TD (Tabela 1), o que faz com que esses nutrientes sejam diluídos no vermicomposto à medida que se acrescenta este resíduo. Contudo, os níveis alcançados, mesmo na maior proporção de TD adicionada, atenderam aos limites estabelecidos pela legislação IN SDA/MAPA 25/2009 (Brasil, 2009).

Segundo a IN SDA/MAPA 25/2009 (Brasil, 2009), o valor mínimo para comercialização de um fertilizante orgânico quanto ao N, deve ser de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$. Assim, até 30,12% de TD adicionada ao pré-composto o vermicomposto poderá ser comercializado, já que alcançou $11,77 \text{ g kg}^{-1}$ nesta maior proporção (Tabela 2), sendo que no vermicomposto sem adição de TD apresentou teor de $18,37 \text{ g kg}^{-1}$. Todavia, vale ressaltar que, em vermicompostagem somente com lodo de esgoto, *Dores-Silva et al.* (2011a) obtiveram concentração deste elemento de $33,70 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto Nascimento *et al.* (2013) obtiveram, em vermicompostagem de lodo de esgoto e resíduos vegetais, concentração de $13,9 \text{ g kg}^{-1}$.

As normas mencionadas acima não estabelecem valores mínimos para os demais nutrientes, porém, as reduções nas suas concentrações com o incremento de TD foram de $4,18 \text{ g kg}^{-1}$ para P, de $0,84 \text{ g kg}^{-1}$ para o K e de $1,44 \text{ g kg}^{-1}$ para Ca.

As concentrações de P obtidas neste trabalho variaram de 2,60 a 3,62% de P_2O_5 , sendo classificada como alta por Kiehl (1985). Os valores de P foram próximos aqueles obtidos por *Dores-Silva et al.* (2011a) em vermicomposto de lodo de esgoto puro, que foi de $11,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P, e muito acima da obtida por Nascimento *et al.* (2013) em vermicomposto de lodo de esgoto e resíduos vegetais, que foi de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P. Para o K e o Ca, os valores encontrados por Nascimento *et al.* (2013) foram de 4,0 e $4,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, sendo superiores as concentrações observadas nesta pesquisa.

O K foi o macronutriente em menor concentração no lodo de esgoto e no pré-composto (Tabela 1), o que implicou em baixa concentração deste elemento no vermicomposto final (Tabela 2), com valores variando de 0,27 a 0,37% de K_2O , valores classificados como baixos por Kiehl (1985). Barbosa *et al.* (2007) relataram reduções

nos teores de K, após 100 dias de incubação, quando misturaram lodo de esgoto e solo. As baixas concentrações de K normalmente observadas em lodos de esgotos são atribuídas à alta solubilidade deste elemento, o que faz com que a maior parte do mesmo permaneça na água residuária, destinada aos cursos d'água pelas estações de tratamento de esgotos.

TABELA 2

Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos e físico-químicos analisados no vermicomposto após a adição das distintas proporções de terra diatomácea

Atributo	Equações de regressão ajustadas	R ²	CV (%)	TVM	TP
N (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 18,37 - 0,2192^{***}x$	0,98	5,26	11,77	5,0 ^a mín
P (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 15,61 - 0,1388^{***}x$	0,95	7,47	11,43	---
K (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 3,04 - 0,0279^{***}x$	0,83	11,49	2,20	---
S (g kg ⁻¹)	$\bar{y} = 62,47 \pm 3,51$	---	14,17	62,47	---
Ca (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 4,43 - 0,0482^{***}x$	0,98	10,58	2,99	---
Mg (g kg ⁻¹)	$\bar{y} = 2,33 \pm 0,11$	---	12,25	2,33	---
Na (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 162,37 + 22,9404^{***}x$	0,99	7,59	853,34	---
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 25.455,20 - 346,7596^{***}x$	0,99	3,89	15.010,80	---
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 636,20 - 10,4715^{***}x$	0,99	4,76	320,80	2.800 ^c máx
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 187,60 - 1,762^*x - 0,0173^{**}x^2 + 0,0043^{**}x^3$	0,99	3,15	94,40	1.500 ^c máx
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 154.19 + 3,857^{***}x - 0,497^{ns}x^2 + 0,0099^*x^3$	0,99	10,39	91,40	---
Al (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 7.738,61 - 113,7195^{***}x$	0,99	6,70	4.313,40	---
Se (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,28 - 0,0146^*x + 0,0013^*x^2 - 0,00003^*x^3$	0,84	18,56	0,20	100 ^c ; 80 ^b máx
As (mg kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,22 \pm 0,11$	---	117,71	0,22	41 ^c ; 20 ^b máx
C org. (g kg ⁻¹)	$\bar{y} = 267,12 \pm 28,41$	---	25,15	267,12	100,0 ^a mín
CTC (mmol _c kg ⁻¹)	$\hat{y} = 547,10 - 5,4582^{**}x^2$	0,95	11,55	382,70	---
Relação CTC/C	$\bar{y} = 18,01 \pm 1,38$	---	19,78	18,01	---
Relação C/N	$\bar{y} = 17,93 \pm 1,77$	---	25,77	17,93	14 ^a ; 20 ^a máx
pH - CaCl ₂	$\hat{y} = 5,99 - 0,0357^{ns}x + 0,0015^*x^2$	0,91	4,47	6,23	6,0 ^a mín

TVM – Teor do atributo no vermicomposto com maior dose de TD; TP – Teor ou valor permitido pela (a) IN 25/2009, (b) IN 27/2006 e (c) CONAMA nº 375; máx – máximo; mín – mínimo; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; °, *, **, *** – Significativo a 0,10, 0,05, 0,01, 0,001 de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Fonte: Da autora.

O Ca no vermicomposto teve a sua concentração diminuída de 4,43 para 2,99 g kg⁻¹ com a adição de TD (Tabela 2), sendo essas concentrações classificadas como baixas por Kiehl (1985). Para os nutrientes Mg e S, não houve modificação de suas concentrações com o incremento de TD, apesar da baixa concentração de Mg nesta última (Tabela 1). Os valores médios obtidos para esses elementos foram de 2,33 e

62,47 g kg⁻¹, respectivamente, sendo o teor de Mg classificado como baixo e o de S classificado como alto por Kiehl (1985). Os valores obtidos foram superiores aos de Nascimento *et al.* (2013), que foram de 1,5 e 9,2 g kg⁻¹, respectivamente. Contudo, as poucas reduções observadas nas concentrações de alguns nutrientes com a adição de até 30,12% de TD podem ser compensadas pelos benefícios físicos mais duradouros proporcionados pela adição deste resíduo no substrato de vermicompostagem.

Os elementos Cd, Pb, Ba, Cr e Co não atingiram o limite de quantificação do aparelho utilizado na leitura. Por outro lado, os elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Al e Se tiveram suas concentrações totais reduzidas com o incremento de TD ao processo de vermicompostagem (Tabela 2), uma vez que este resíduo possui baixos teores desses elementos em sua composição (Tabela 1). Desse modo, com a adição de até 30,12% de TD, as reduções foram de 10.444,40mg kg⁻¹ de Fe, de 315,40 mg kg⁻¹ de Zn, de 93,20 mg kg⁻¹ de Cu, de 62,80 mg kg⁻¹ de Mn. Fica evidente, portanto, um empobrecimento do substrato em micronutrientes para as plantas, conforme já observado para os macronutrientes. Contudo, o valores atingidos para o Zn e Cu aproximam-se dos obtidos por Nascimento *et al.* (2014) em vermicomposto de lodo de esgoto e resíduos vegetais, os quais foram de 374 e 71 mg kg⁻¹ respectivamente. Para o Fe e Mn, Hashemimajd e Jamaati-e-Somarin (2011) relatam concentrações em vermicompostos de lodo de esgoto e resíduos vegetais variando entre 3.000 e 6.000 mg kg⁻¹ e 225 a 300 mg kg⁻¹, respectivamente.

Com a adição de 30,12% de TD, a concentração de Al diminuiu 3.425,20 mg kg⁻¹, enquanto a de Se diminuiu 0,08 mg kg⁻¹ (Tabela 2). Corrêa *et al.*(2007) destacam a alta concentração de Al em lodo quando o tratamento do esgoto na estação envolve a adição de AlCl₃, podendo atingir valores da ordem de 3.700 mg kg⁻¹. Todavia, a concentração se torna muito maior após o processo de mineralização da matéria

orgânica. Apesar disso, com os valores de pH da vermicompostagem normalmente próximos da neutralidade e com a complexação do Al pelo húmus, este elemento fica indisponível para as plantas.

No caso do Se, as concentrações obtidas nesta pesquisa foram muito baixas (Tabela 2), devido à baixa concentração do lodo de esgoto utilizado (Tabela 1), comparadas a obtida por Dores-Silva *et al.* (2011a) em vermicomposto de lodo de esgoto, que foi de 76,06 mg kg⁻¹. Além disso, para fins de registro do produto segundo a INSDA/MAPA 27/2006 e 7/2016 (Brasil, 2006a), o limite é de 80 mg kg⁻¹, enquanto para a resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006b) é de 100 mg kg⁻¹, as quais são muito superiores ao valor médio de 0,2 mg kg⁻¹ verificado no vermicomposto deste trabalho.

As concentrações de As não foram influenciadas pelas diferentes proporções de TD adicionadas ao vermicomposto. Este fato é satisfatório, pois em qualquer quantidade testada de TD não foi possível alcançar valores superiores aos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006b), que indica um valor máximo de 41 mg kg⁻¹. Também, para fins de registro do produto segundo a INSDA/MAPA 27/2006 e 7/2016 (Brasil, 2006a), o limite é de 20 mg kg⁻¹, portanto, muito acima do valor médio de 0,22 mg kg⁻¹ verificado no vermicomposto.

De acordo com a resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006b), a qual estabelece os valores máximos permissíveis de elementos químicos para o uso agrícola do lodo de esgoto, as concentrações críticas são de 2.800 mg kg⁻¹ para o Zn e de 1.500 mg kg⁻¹ para o Cu. Portanto, com o processo de vermicompostagem, os elementos enquadraram-se dentro dos limites permitidos para uso do vermicomposto na agricultura. Panday *et al.* (2014) relatam em seu trabalho que as minhocas são capazes de absorver elementos tóxicos em seus tecidos durante o processo de

vermicompostagem, o que pode explicar em partes as reduções dos metais no substrato formado.

No caso do Na, houve incremento desse elemento com a adição de TD ao vermicomposto (Tabela 2). Embora não seja um elemento muito concentrado no lodo de esgoto e na TD (Tabela 1), esta última o contém um pouco mais, o que implicou num aumento de $690,97 \text{ mg kg}^{-1}$ da concentração no vermicomposto com o aumento da proporção de TD. Além disso, houve um aumento da concentração em relação aos substratos originais em razão da redução da biomassa do vermicomposto pela decomposição. Foi observado um resultado semelhante nos trabalhos de Orrico Junior *et al.* (2012), em que o teor de Na aumentou de 6,30 para $8,70 \text{ g kg}^{-1}$ durante o processo de compostagem de dejetos de bovinocultura de corte.

A concentração média de C-orgânico total foi de $267,12 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2), sendo muito superior ao mínimo de 150 e 100 g kg^{-1} exigido pela legislação para a comercialização de composto orgânico e vermicomposto (Brasil, 2009). Essa concentração é próxima à descrita por Dores-Silva *et al.* (2011a) que observaram em vermicomposto de lodo de esgoto, a concentração de $210,0 \text{ g kg}^{-1}$. A estabilidade dos teores de C-orgânico total com o incremento de TD (Tabela 2) pode ser explicada pelo fato da maior parte desse elemento no resíduo ser proveniente de óleo vegetal, que é decomposto pelos microrganismos. Dores-Silva *et al.* (2011a) e Dores-Silva *et al.* (2011b) destacam que, no processo de vermicompostagem, parte do C-orgânico passa a fazer parte da biomassa das minhocas e a outra parte é transformada em CO_2 . Lopes *et al.* (2008) indicam um valor de C-orgânico acima de 25% como ideal para substrato, o que nos faz perceber que o vermicomposto formado, encontra-se pouco acima da concentração considerada adequada.

A relação C/N do vermicomposto não variou com a adição de TD, tendo apresentado valor médio de 17,93 (Tabela 2), o que corresponde a 28% maior que a recomendada pela IN SDA 25/2009 (Brasil, 2009), que estabelece um valor máximo de 14. A relação C/N indica a maturação do vermicomposto, em que quanto mais baixa, mais evoluído o processo de maturação. Tal resultado foi muito semelhante ao obtido por Dores-Silva *et al.* (2011a), os quais encontraram valor de relação C/N de 16,69 em vermicomposto de lodo de esgoto aos 90 dias de vermicompostagem. Todavia, para fins de atendimento a IN SDA/MAPA 25/2009 (Brasil, 2009), o produto pode ser registrado para comercialização como composto orgânico da classe D, cuja relação C/N máxima admitida é de 20. Para esta especificação, todos os outros atributos avaliados são também atendidos.

Com relação a capacidade de troca de cátions (CTC), podemos perceber que esta decresce de 547,1 para 382,7 mmol_c kg⁻¹ na medida em que é acrescentada a TD (Tabela 2). Tal fato pode ser justificado pela TD ser um material inerte, reduzindo a CTC quando é adicionada ao pré-composto (Tabela 1). Os estudos de Pigozzo *et al.* (2008) e Cardoso *et al.* (2011) comprovam o aumento da CTC em função do incremento de lodo de esgoto, de forma que, ao ser reduzida a quantidade de matéria orgânica do vermicomposto com a adição de TD, será reduzida também a CTC do substrato formado. Corrêa *et al.* (2006) também verificaram baixa CTC do solo para a produção de mudas de café com a adição de TD.

Por outro lado, a relação CTC/C, a qual avalia se o processo de humificação da matéria orgânica foi eficiente, demonstra que não houve diferenças entre as diferentes proporções de TD (Tabela 2). O índice médio de 18,01 obtido neste trabalho é superior ao índice mínimo de 17 apontado por Kiehl (1998), indicando um vermicomposto com boa maturação.

O pH do vermicomposto aumentou de 5,99 para 6,23 com o incremento de TD (Tabela 2). Estes valores são superiores ao obtido por Dores-Silva *et al.* (2011a), com lodo de esgoto vermicompostado por 90 dias, cujo pH foi 5. Contudo, a produção de vermicomposto com aproximadamente 30,12% de TD proporciona valor de pH que atende a Instrução Normativa IN 25/2009 (Brasil, 2009), a qual determina pH de no mínimo 6.

O teor de matéria orgânica do vermicomposto reduziu 6,34 dag kg⁻¹ com o aumento da adição de TD (Tabela 3), podendo-se atribuir essa redução a uma maior decomposição do óleo vegetal presente no resíduo. Segundo Dores-Silva *et al.* (2011a), o grau de humificação e a natureza química dos substratos influencia diretamente a velocidade e intensidade das transformações das frações da matéria orgânica. De qualquer forma, os valores de matéria orgânica apresentados superam o limite mínimo de 30 dag kg⁻¹ considerado adequado para um vermicomposto (KIEHL, 1985), por ser fonte de nitrogênio e responder por grande parte da CTC (LOPES *et al.*, 2005).

TABELA 3

Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos e físicos analisados no vermicomposto após a adição das distintas proporções de terra diatomácea					
Atributo	Equações de regressão ajustadas	R ²	CV (%)	TVM	
MO (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 41,17 - 0,0974^{ns}x - 0,0179x^2 + 0,00047^{**}x^3$	0,99	1,51	34,83	
CE (dS m ⁻¹)	$\hat{y} = 4,92 - 0,0539x$	0,96	15,9	3,30	
Resíduo Mineral Total (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 58,83 + 0,0975^{ns}x + 0,01792x^2 - 0,00047^{**}x^3$	0,99	0,91	65,18	
Resíduo Mineral Solúvel (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 19,90 - 0,0891^{***}x - 0,014852^{ns}x^2 + 0,000327x^3$	0,99	1,2	12,68	
Resíduo Mineral Insolúvel (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 38,92 + 0,1863^{***}x + 0,0327x^2 - 0,0008x^3$	0,99	1,4	52,34	
Densidade Aparente (g cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,55 - 0,0034^{***}x$	0,98	2,8	0,45	

MO – Matéria orgânica; CE – Condutividade elétrica; TVM – Teor do atributo no vermicomposto com maior dose de TD; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; °, *, **, *** – Significativo a 0,10, 0,05, 0,01, 0,001 de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Fonte: Da autora.

A condutividade elétrica (CE) do vermicomposto diminuiu de 1,62 dS m⁻¹ com o incremento de TD (Tabela 3). Zibetti *et al.* (2015) afirmam que a elevação da

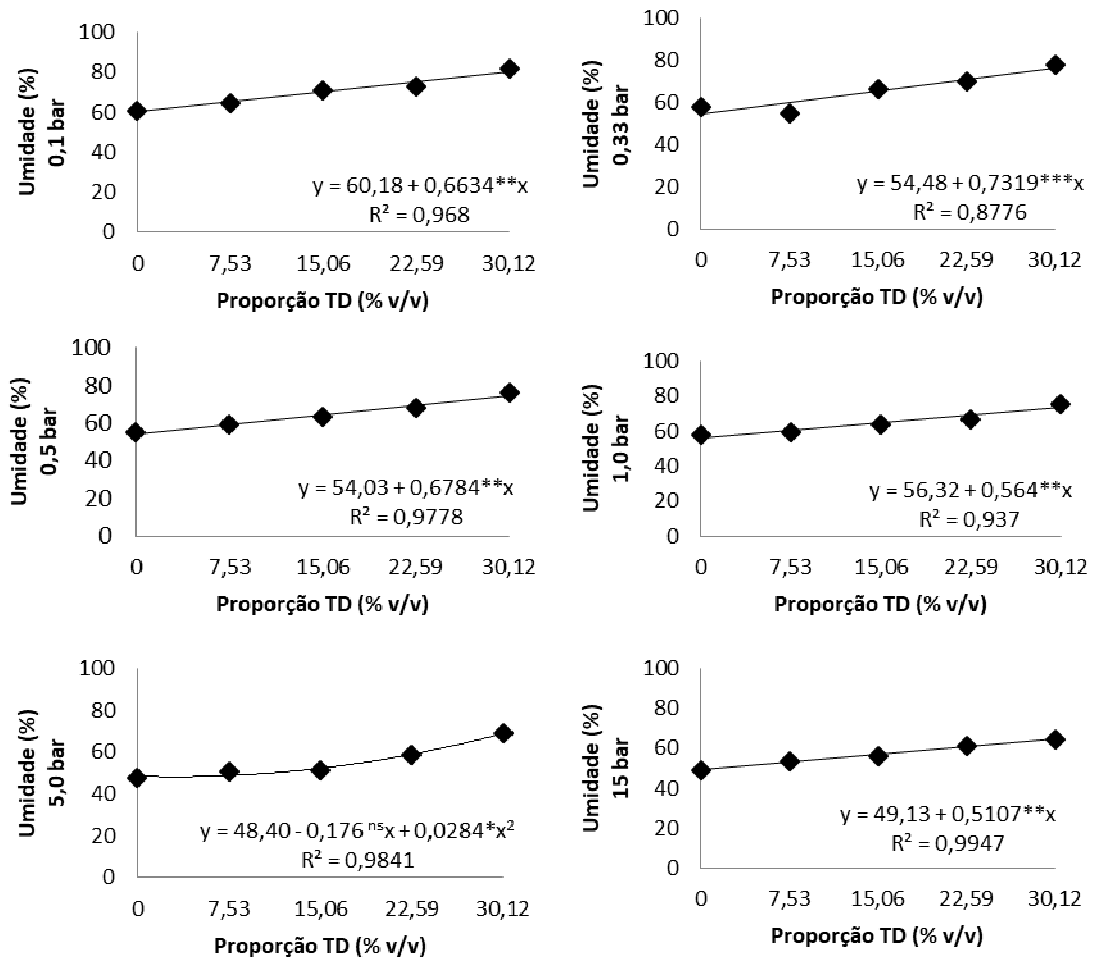
condutividade elétrica indica a mineralização dos compostos durante o processo de vermicompostagem. Neste caso, como existe menor quantidade de elementos a ser mineralizado na TD, a indicação esperada é de que seja reduzida também a CE do vermicomposto formado. Recomenda-se valores de CE inferior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ para cultivo de vegetais com a intenção de evitar injúrias as plantas. Neste caso, é importante a adição de pelo menos 18% de TD para redução da CE a um nível adequado para as plantas. Nos trabalhos de Oliveira *et al.* (2002) são encontrados dados que comprovam que aplicações crescentes de doses de lodo de esgoto no solo elevam a condutividade elétrica. Tal fato se dá pela quantidade de íons Mg^{2+} , Ca^{2+} e Cl^- e os íons NH_4^+ e NO_3^- oriundos da mineralização do nitrogênio, em que foram encontrados resultados semelhantes também nos trabalhos de Epstein *et al.* (1976); Logan *et al.* (1997) e Oliveira *et al.* (2002).

O incremento de TD proporcionou aumento no resíduo mineral total do vermicomposto, que variou de 58,83 para 65,18 dag kg^{-1} . Além disso, houve redução do resíduo mineral solúvel de 200,71 para 125,06 g kg^{-1} e aumento do resíduo mineral insolúvel de 385,16 para 528,48 g kg^{-1} . Pelo exposto, ficou evidente que as minhocas tiveram grande afinidade e se alimentaram intensamente do óleo da TD, o que acelerou a decomposição e proporcionou o uso de parte deste carbono na constituição de sua biomassa.

Em relação à densidade aparente do vermicomposto, esta diminuiu de 0,55 para 0,45 g cm^{-3} com o incremento de TD. Constata-se, portanto, que a TD deixou o vermicomposto um pouco mais poroso, favorecendo a dinâmica e retenção de água e as trocas gasosas do substrato. Tal fato pode ter beneficiado a atividade biológica do solo, o que pode explicar a maior redução da matéria orgânica verificada com o aumento da adição desse resíduo ao vermicomposto.

Todavia, mesmo considerando somente o vermicomposto de lodo de esgoto e resíduos de podas, a densidade aparente é de $0,55 \text{ g cm}^{-3}$, sendo considerada baixa. Guerrini e Trigueiro (2004) atribuem a redução da densidade em substrato cultivado em mudas de eucalipto contendo lodo de esgoto ao teor de matéria orgânica encontrada neste resíduo.

O aumento da força de retenção de água pelo vermicomposto aumentou linearmente com o incremento de terra diatomácea no substrato. Os acréscimos na capacidade de retenção de água foram de 60,18 para 80,16% na tensão de 0,1 bar, de 54,48 para 76,53% na tensão de 0,33 bar, de 54,03 para 74,46% na tensão de 0,5 bar, de 56,32 para 73,31% na tensão de 1 bar, de 48,40 para 68,86% na tensão de 5 bar e de 49,13 para 64,51% na tensão de 15 bar. Diante do exposto, os incrementos na retenção de água do vermicomposto variaram entre 15,38 e 22,05% com a adição de 30,12% de TD. Uma vez que houve decréscimo da CTC do vermicomposto com o aumento da TD (Tabela 2), supõe-se que a TD deve ter promovido o aumento da microporosidade e que esta é a principal responsável pelo incremento na retenção de água do fertilizante. Ficou evidente, portanto, o benefício da adição de TD ao vermicomposto, tornando-o, além de um fertilizante orgânico, um importante condicionador físico do solo, podendo também ser usado diretamente como substrato para o cultivo de plantas (Fig 2).



*, **, *** significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. ns = não significativo.
 Fonte: Da autora

Figura 2 - Capacidade de retenção de umidade nas tensões de 0,1 bar, 0,33 bar, 0,5 bar, 1 bar, 5 bar e 15 bar em função da proporção de terra diatomácea (TD) adicionada no vermicomposto.

A avaliação da fitotoxicidade do substrato formado foi realizada por meio do plantio de pepinos (*Cucumis sativus*), espécie vegetal listada pela EPA como importante indicador de fitotoxicidade (GRANT, 1998). Nenhuma das plantas de pepino apresentou fitotoxicidade, ou seja, não apresentou dano aparente, mas sim um crescimento normal com aspecto saudável. Deste modo, independente da proporção de TD do vermicomposto produzido, constatou-se que o substrato não é fitotóxico (Fig.3).



Figura 3- Plantio de pepinos para avaliar a fitotoxicidade do vermicomposto produzido por lodo de esgoto e terra diatomácea.
Fonte: Arquivo pessoal.

4 CONCLUSÃO

A terra diatomácea, mesmo embebida em óleo biocombustível, pode ser vermicompostada com lodo de esgoto e resíduos de podas de jardinagem em quantidades de até 30,12% v/v, sem prejuízos físicos visíveis a minhocas e vegetais.

A adição de até 30,12% v/v de terra diatomácea reduz a concentração de nutrientes, mas melhora as propriedades físicas do vermicomposto, tornando-o também um excelente condicionador físico para o uso como substrato de plantas e fertilização dos solos.

O vermicomposto de lodo de esgoto, resíduos vegetais e terra diatomácea na proporção de 30,12% v/v atende aos critérios estabelecidos para registro e comercialização do produto como composto orgânico e substrato agrícola, conforme a IN SDA/MAPA 25/2009, IN SDA/MAPA 27/2006 e IN SDA/MAPA 7/2016.

CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO A PARTIR DE VERMICOMPOSTO DE LODO DE ESGOTO E DIFERENTES PROPORÇÕES DE TERRA DIATOMÁCEA

RESUMO

Os substratos para plantas variam em seus atributos, sendo bastante complexo obter materiais que atendam às necessidades de cultivo em todas as suas fases de crescimento. Contudo, o atendimento pleno das necessidades da planta na sua fase inicial proporciona um bom desenvolvimento e uma boa resistência, garantindo o sucesso da muda no campo. Em razão de seus atributos químicos e físicos favoráveis, a mistura de vermicomposto de lodo de esgoto (LE) e de terra diatomácea (TD) pode ser uma alternativa promissora para uso como substrato para a produção de mudas vegetais. Dessa maneira, objetivou-se produzir mudas de *E. urophylla* utilizando como substrato o vermicomposto a partir de pré-composto (PC) de lodo de esgoto e podas de jardinagem com diferentes proporções de TD proveniente de processo de fabricação de óleo biocombustível. As mudas foram produzidas em tubetes de 50 cm³ com os seguintes tratamentos: T0 – Substrato comercial, e substratos formados por vermicomposto nas seguintes proporções de PC e TD: T1:100%PC e 0%TD, T2: 92,47%PC e 7,53%TD, T3: 84,94%PC e 15,06%TD, T4: 77,41%PC e 22,59%TD e T5: 69,88%PC e 30,12%TD. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. Aos 90 dias, foram avaliadas as características morfológicas das plantas e as características químicas e físicas do substrato. De modo geral, as mudas obtiveram melhor desempenho em substrato cultivado com vermicomposto e TD, quando comparadas ao substrato comercial. Quando cultivadas em vermicomposto, as mudas de eucalipto não apresentaram sintomas de fitotoxicidade e os seus atributos morfológicos foram satisfatórios mesmo em maiores concentrações de TD misturadas ao vermicomposto.

Palavras-chave: biossólido, substrato para plantas, reciclagem de resíduos.

CHAPTER 3 - EUCALYPTUS SEEDLINGS PRODUCTION FROM SEWAGE SLUDGE AND DIFFERENT DIATOMACEOUS EARTH PROPORTIONS

ABSTRACT

The substrates for plants vary in their attributes, being very complex to obtain materials that meet the needs of cultivation in all its phases of growth. However, fully meeting the needs of the plant in its initial phase provides a good development and good resistance, ensuring the success of seedlings in the field. Due to its favorable chemical and physical attributes, the mixture of sewage sludge vermicompost (SS) and diatomaceous earth (DE) can be a promising alternative for use as a substrate for the production of plant seedlings. In this way, the objective was to produce seedlings of *E. urophylla* using as substrate the vermicompost from pre-compost (PC) of sewage sludge and prunings of gardening residue with different proportions of DE coming from process of biofuel oil manufacture. The seedlings were produced in 50cm³ tubes with the following treatments: T0 – Commercial substrate, and substrates formed by vermicompost in the following proportions of PC and DE: T1:100%PC and 0%DE, T2: 92,47%PC and 7,53%DE, T3: 84,94%PC and 15,06%DE, T4: 77,41%PC and 22,59%DE and T5: 69,88%PC and 30,12%DE. The experimental design was a randomized block with 4 replications. At 90 days, the plants morphological characteristics and the chemical and physical characteristics of the substrate were evaluated. In general, the seedlings obtained better performance in substrate with vermicompost and DE, when compared to the commercial substrate. When cultivated in vermicompost, the eucalyptus seedlings did not show symptoms of phytotoxicity and their morphological attributes were satisfactory even in higher concentrations of DE mixed with vermicompost.

Keywords: biosolids, substrate for plants, waste recycling.

1 INTRODUÇÃO

O eucalipto se encontra em um grupo de plantas em que seu gênero garante características peculiares como o rápido crescimento e a boa adaptabilidade às condições de solo e clima, o que faz com que tenha a vantagem de se produzir em ciclos de corte rápidos e curtos e elevada produtividade quando comparadas a espécies nativas (CALDEIRA *et al.*, 2013).

De modo geral, não é possível encontrar apenas um substrato que satisfaça todas as condições agronômicas necessárias que garantam uma boa produção em quantidade e qualidade de uma espécie florestal, sendo necessário utilizar de uma mistura de componentes que busquem suprir as necessidades da planta de acordo com o benefício que proporcionam, uma vez que, se utilizadas isoladamente, podem prejudicar ao invés de auxiliar no seu crescimento (SANTANA *et al.*, 2008; KRATZ; WENDLING, 2013).

Diversos estudos apresentam o lodo de esgoto como uma alternativa viável para a produção de mudas, tanto de espécies nativas quanto exóticas, como o eucalipto (CALDEIRA *et al.*, 2013; FERNANDES *et al.*, 2014). A intenção é a de reutilizar o lodo de esgoto (LE), aproveitando suas características químicas, já que é rico em matéria orgânica e outros elementos essenciais para as plantas.

Assim como o lodo de esgoto é utilizado para contribuir com a sustentabilidade do ambiente, outros resíduos também podem ter essa função e serem utilizados como condicionadores do solo, como por exemplo, a terra diatomácea (TD). A TD produzida no processo de filtração do biocombustível gera um resíduo de difícil descarte, devido ao elevado teor de óleo impregnado, sendo de manuseio e descartes limitados.

Sabe-se que as propriedades físicas da TD são excelentes para melhorar as propriedades físicas do solo, principalmente devido a sua textura fina e friável, porém seu uso na agricultura tem se limitado ao controle de pragas e doenças em armazenamento de grãos (MARTÍNEZ *et al.*, 2013).

A mistura de resíduos de atividades urbanas pode favorecer a qualidade de substratos para a produção de mudas vegetais, bem como, proporcionar uma destinação ambientalmente adequada para esses resíduos, transformando-os em matéria-prima. Contudo, enorme atenção deve ser dada aos limites impostos para o uso e reciclagem de resíduos estabelecidos pela resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) e instrução normativa MAPA 25/2009 (BRASIL, 2009), as quais estabelecem os critérios do uso do lodo de esgoto e o uso de fertilizantes orgânicos, garantindo boa qualidade dos compostos orgânicos sem que haja prejuízos futuros ao meio ambiente.

Dessa maneira, buscou-se nesta pesquisa avaliar a qualidade de um vermicomposto, formado por lodo de esgoto e resíduos vegetais contendo diferentes proporções volumétricas de TD, como substrato para a produção de mudas de eucalipto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparo do substrato

Foi realizada uma pré-compostagem entre 09/2014 e 11/2015 em uma instalação protegida do campus ICA da Universidade Federal de Minas Gerais em Montes Claros a partir de lodo de esgoto solarizado e restos de podas de árvores na proporção de 3:1 v/v. O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamento da Copasa - MG da cidade de Montes Claros e o material carbonáceo foi recolhido dos restos de podas de jardinagem da Universidade.

O material foi submetido a uma pré-decomposição para evitar a fermentação que é prejudicial às minhocas, devido a produção de gases tóxicos e elevação da temperatura e então foi pré-compostado por um período de 7 semanas, sendo monitorada a umidade e a temperatura, além de ser feito o revolvimento do material uma vez por semana conforme recomendado por Ricci (1996).

Transcorrido o período indicado, este pré-composto (PC) foi colocado em recipiente de material plástico, de 100 litros de capacidade volumétrica total e foram dispostos de maneira declinada. Em cada recipiente foi deixado um local de drenagem para escoamento do possível excesso de água de maneira que pudesse ser recolhida e retornada ao recipiente. Foram adicionadas diferentes proporções de um resíduo produzido pela filtração de biocombustível na Petrobrás S/A de Montes Claros ao pré-composto formado. O resíduo é composto basicamente de terra de diatomácea (TD) misturada ao óleo filtrado e foi medido em proporções que completavam 80 litros de volume final.

Os tratamentos consistiram em: T1 – 0% TD + 100% PC, T2 – 7,53% TD + 92,47% PC, T3 – 15,06% TD + 84,94% PC, T4 – 22,59% TD + 77,41% PC, T5 – 30,12% TD + 69,88% PC. Em todos os recipientes foram adicionados 1 kg de

minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia foetida*) e todos foram cobertos com sombrite a fim de evitar a evaporação excessiva, ressecamento do material e fuga das minhocas.

Para manter o ambiente local favorável, eram feitos turnos de rega que mantinham sempre a umidade próxima a capacidade de retenção de água indicada por Ricci (1996), retornando para o vermicomposto todo o excesso de água drenado.

Uma vez por mês este material era revirado manualmente para evitar danos as minhocas e evitar a compactação que dificulta a aeração e a drenagem.

Transcorridos 5 meses foi feita a coleta de parte deste material para utilização como substrato para o plantio das mudas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições, totalizando 25 unidades experimentais.

2.2 O plantio de mudas de Eucalipto

O experimento foi conduzido na fazenda experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro, no Instituto de Ciências Agrárias ICA/UFMG, no período de 20 de julho de 2015 a 20 de outubro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 6 tratamentos, e 5 repetições. Cada unidade experimental foi composta por quatro tubetes totalizando 120 plantas e 30 unidades experimentais.

A fazenda experimental possui coordenadas geográficas de 16° 43' 41" latitude sul e a uma longitude de 43° 52' 54" oeste e altitude média de 646 m. Possui clima Aw – clima tropical de savana com inverno seco e verão chuvoso também classificado como semi-árido, segundo a classificação de Köppen.

O substrato comercial utilizado para o plantio das mudas de eucalipto foi da marca Bioplant® e o substrato provindo do vermicomposto formado de lodo de esgoto e restos de podas de árvores foi colocado em tubetes nos seguintes tratamentos:

T0 – substrato comercial

T1 – substrato formado por vermicomposto de 0% TD, 100% pré-composto

T2 – substrato formado por vermicomposto de 7,53% TD, 92,47% pré-composto

T3 – substrato formado por vermicomposto de 15,06% TD, 84,94% pré-composto

T4 – substrato formado por vermicomposto de 22,59% TD, 77,41% pré-composto

T5 – substrato formado por vermicomposto de 30,12% TD, 69,88% pré-composto

Para a produção das mudas, foi utilizado tubetes cilindro-cônicos com capacidade de 50 cm³ e dimensões de 12,5 cm de altura e 1,3 cm de diâmetro inferior e 2,8 cm de diâmetro superior com 6 estrias internas salientes. Realizou-se a semeadura direta de sementes de *Eucalypto urophylla* nos tubetes de forma manual, em que cada tubete recebeu uma quantidade semelhante de sementes que foram tomadas com auxílio de uma espátula.

Após a semeadura, quando as plantas atingiram no mínimo um par de folhas, realizou-se o desbaste com o auxílio de uma pinça em que eram arrancadas as mudas excedentes. As plantas escolhidas por tubete eram as que se encontravam mais centralizadas, e com melhor crescimento da parte aérea. Durante todo o experimento as plantas foram deixadas a pleno sol sob turno de rega manual em que eram regadas 3 vezes ao dia nos primeiros 60 dias e cinco vezes ao dia dos 60 aos 90 dias. As adubações foram feitas conforme recomendação de Gonçalves (1995), sendo a adubação de base com 150 g m⁻³ de N, 300 g m⁻³ de P₂O₅, 100 g m⁻³ de K₂O, seguida de adubações por cobertura em que se dissolveu 100 g de sulfato de amônio e 30 g de KCl em 10 L de água (volume para regar 1.000 tubetes), sendo as regas feitas com

essa solução a cada 10 dias, até a muda atingir o tamanho desejado (GONÇALVES, 1995).



Figura 4 - Experimento montado de mudas de *E. urophylla*
Fonte: Arquivo pessoal.

A partir dos 45 dias de plantio foram feitas avaliações quinzenais periódicas em que foram mensurados o diâmetro do coleto (DC) e a altura (H) das plantas que mais se sobressaíram. Aos 90 dias, foi avaliada a relação entre a parte aérea e o diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSR), massa seca total (MST), relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca do sistema radicular (MSPA/MSR), relação entre a altura e a massa seca da parte aérea (H/MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

O diâmetro do coleto foi obtido com paquímetro digital e a altura com régua milimetrada, tomando-se como padrão a gema terminal (meristema apical). A quantificação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular foi efetuada por meio da pesagem das respectivas partes vegetais, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por um período de aproximadamente 72 horas.

O Índice de Qualidade de Dickson foi obtido pela fórmula de Dickson *et al.* (1960):

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{D} + MSPA/MSR}$$

Em que: MST (g) = massa seca total; H (cm) = altura; D (mm) = diâmetro do coleto; MSPA (g) = massa seca da parte aérea; e MSR (g) = massa seca da raiz.

2.3 Análises de Laboratório

Para mensurar a matéria orgânica (MO), o resíduo mineral total, o resíduo mineral solúvel, o resíduo mineral insolúvel, a capacidade de troca de cátions (CTC) e os teores totais de potássio, fósforo, enxofre e sódio, foram utilizadas as metodologias propostas por Alcarde (2009), enquanto, para a densidade aparente, o pH e a condutividade elétrica, foram utilizados os métodos propostos por Tedesco *et al.* (1995).

A análise dos elementos As, Ca, Mg, Cu, Zn e Mn foram feitas de acordo com a metodologia EPA-3051. A digestão do material foi realizada em aparelho Digestor de Microondas Mars6, e a leitura das concentrações dos metais presente em cada amostra foi feita em aparelho espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo AA 240, com os seguintes níveis de quantificação: Mn (0,5 a 6 mg L⁻¹), Ca (0,5 a 4 mgL⁻¹), As (2 a 50 mg L⁻¹), Cu (0,1 a 10 mgL⁻¹), Zn (0,15 a 1,5 mgL⁻¹), Mg (0,075 a 1mgL⁻¹).

Foi feita a caracterização do substrato comercial e foram obtidos os seguintes resultados: pH CaCl₂ de 4,7; 24,65 dag kg⁻¹ de C, 0,31 dag kg⁻¹ de N; 0,90 dag kg⁻¹ de P; 0,15 dag kg⁻¹ de K; 0,2 dag kg⁻¹ de S; 125,9 mg kg⁻¹ de Ca, 3987 mg kg⁻¹ de Mg, 0,02 mg kg⁻¹ de Mn; 33,5 mg kg⁻¹ de Zn; 38,5 mg kg⁻¹ de Cu; 40,5 dag kg⁻¹ de MO, 59,49 dag kg⁻¹ de RMT, 8,72 dag kg⁻¹ de RMS; 31,78 dag kg⁻¹ de RMI; CE de 0,70 dS-1; densidade aparente de 0,43 g cm⁻³; e relação C/N de 79,51.

TABELA 1

Características químicas, físicas e físico-químicas do lodo de esgoto (LE), pré-composto (PC) e terra diatomácea (TD)							
Variável	LE	PC	TD	Variável	LE	PC	TD
pH - CaCl ₂	6,10	6,10	4,30	Se (mg kg ⁻¹)	0,306	0,226	nq
C (dag kg ⁻¹)	28,6	25,0	48,2	As (mg kg ⁻¹)	0,276	0,246	0,275
N (dag kg ⁻¹)	2,2	1,88	0,06	Cr (mg kg ⁻¹)	nq	nq	nq
P (dag kg ⁻¹)	1,53	1,53	0,60	Pb (mg kg ⁻¹)	nq	nq	nq
K (dag kg ⁻¹)	0,15	0,16	0,02	Ba (mg kg ⁻¹)	nq	nq	nq
S (dag kg ⁻¹)	6,23	6,13	4,43	Cd (mg kg ⁻¹)	nq	nq	nq
Ca (dag kg ⁻¹)	0,27	0,25	1,15	Co (mg kg ⁻¹)	nq	nq	nq
Mg (dag kg ⁻¹)	0,22	0,30	0,001	MO (dag kg ⁻¹)	43,60	43,14	49,56
Mn (mg kg ⁻¹)	94,20	119,25	4,40	RMT(dag kg ⁻¹)	56,39	56,85	50,44
Ni (mg kg ⁻¹)	25,50	25,30	9,70	RMI (dag kg ⁻¹)	35,53	36,67	49,98
Fe (mg kg ⁻¹)	28.000	50.895	165	RMS(dag kg ⁻¹)	20,87	20,18	0,46
Zn (mg kg ⁻¹)	726,25	613,75	9,85	CE (dS m ⁻¹)	3,41	4,58	3,28
Cu (mg kg ⁻¹)	195,55	177,45	6,70	DA (g cm ⁻³)	0,57	0,53	0,68
Na (dag kg ⁻¹)	0,01	0,01	0,02	CTC (mmol _c kg ⁻¹)	540	493	388
Al (mg kg ⁻¹)	6.403	6.210	769	Relação C/N	13,00	13,29	803,00

MO = Matéria orgânica; RMT = Resíduo mineral total; RMI = Resíduo mineral insolúvel; RMS = Resíduo mineral solúvel; CE = Condutividade elétrica; DA = Densidade aparente; CTC = Capacidade de troca catiônica; nq = Não quantificado.

Fonte: Da autora.

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de médias e de regressão, da seguinte forma: para comparação da testemunha (substrato comercial) com os demais tratamentos (vermicomposto) foi aplicado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade, enquanto, para avaliação somente da influência das doses de TD no vermicomposto sobre a planta, foram ajustadas equações de regressão testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características morfológicas das mudas de eucalipto não sofreram influência do aumento da proporção de terra diatomácea (TD), até 30,12%, quando adicionada a mistura de lodo de esgoto e resíduos vegetais no processo de vermicompostagem (Tab. 4).

TABELA 4

Valores médios para os atributos físicos de mudas de <i>E. Urophylla</i> cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea		
Atributo	Equações de regressão ajustadas	CV (%)
Massa fresca parte aérea (g)	$\bar{y} = 18,38 \pm 1,14$	23,5
Massa seca parte aérea (g)	$\bar{y} = 0,94 \pm 0,09$	12,5
Massa fresca raiz (g)	$\bar{y} = 9,16 \pm 0,94$	15,5
Massa seca raiz (g)	$\bar{y} = 0,79 \pm 0,11$	12,8
Massa seca total (g)	$\bar{y} = 1,73 \pm 0,17$	26,4
Relação MSPA/MSR	$\bar{y} = 1,27 \pm 0,19$	7,4
H (cm)	$\bar{y} = 22,12 \pm 1,62$	10,9
DC (mm)	$\bar{y} = 2,73 \pm 0,10$	9,8
Relação H/DC	$\bar{y} = 80,31 \pm 3,81$	31,7
Relação H/MSPA	$\bar{y} = 24,25 \pm 0,36$	29,9
IQD	$\bar{y} = 0,17 \pm 0,02$	13,5

H – altura da planta; DC – diâmetro do coleto; MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca da raiz; IQD – índice de qualidade de Dickson.

Fonte: Da autora.

A análise de alguns atributos físicos dá embasamento para se inferir algumas características com relação à qualidade da muda. A relação MSPA/MSR, por exemplo, indica que, se a massa aérea da planta for muito superior a das raízes, poderá ocasionar problemas de sustentação da planta no campo, bem como a absorção de água pela raiz (Caldeira *et al.* 2013). Caldeira *et al.* (2008) indicam uma relação 2:1 como ideal para que a muda seja levada ao campo, porém as mudas produzidas nesta pesquisa não alcançaram este patamar, incluindo aquelas produzidas em substrato comercial. Dessa forma, ficou evidente que, por maior que tenha sido o incremento de

terra diatomácea ao substrato, este não influenciou o crescimento das mudas de *E. urophylla*.

Os tratamentos T2 (7,53% de TD), T3 (15,06% de TD) e T5 (30,12% de TD) foram os que se diferenciaram do substrato comercial (SC), apresentando valores superiores a esse, quando comparados à massa fresca e a massa seca da parte aérea (Tab. 5). Tal fato pode estar ligado à presença do lodo de esgoto no vermicomposto, que possui comprovadamente excelentes atributos químicos (Caldeira *et al.*, 2012), e que podem proporcionar um melhor desempenho no crescimento das mudas, aliado ao efeito da TD, a qual torna o substrato menos denso e mais poroso.

TABELA 5

Comparação entre as médias do substrato comercial (SC) e dos tratamentos com vermicomposto (PC) contendo diferentes proporções de terra diatomácea (TD) para a massa fresca da parte aérea (MFPA), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa fresca da raiz (MFR), a massa seca da raiz (MSR), a massa seca total (MST) e a relação MSPA/MSR de mudas de <i>E. urophylla</i>						
TRAT	MFPA	MSPA	MFR^{ns}	MSR^{ns}	MST^{ns}	MSPA/MSR^{ns}
SC	14,25 A	0,63 A	9,24	0,46	1,06	1,46
T1	17,29 A	0,86 A	8,63	0,84	1,69	1,20
T2	19,56 B	1,02 B	10,5	0,96	1,98	1,21
T3	19,89 B	1,06 B	9,79	0,77	1,83	1,14
T4	17,14 A	0,84 A	8,45	0,73	1,57	1,17
T5	18,05 B	0,93 B	8,42	0,66	1,59	1,62
CV %	12,61	21,06	41,02	16,04	24,65	39,10

Notas: T1 = 0% TD + 100% PC; T2 = 7,53% TD + 92,47% PC, T3 = 15,06% TD + 84,94% PC, T4 = 22,59% TD + 77,41% PC, T5 = 30,12% TD + 69,88% PC; TRAT = Tratamento; ns = não significativo.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do substrato comercial (SC) não diferem deste, a 5% de probabilidade, pelo teste Dunnett.

Fonte: Da autora.

Por outro lado, para as variáveis: altura da planta (H), diâmetro do coleto (DC) e relação H/MSPA, não foram observadas diferenças entre o substrato comercial e os tratamentos com vermicomposto (Tab. 6), o que indica que este último, quando misturado com até 30% de TD, constitui-se em importante substrato para a produção de mudas de eucalipto. Cabe ressaltar que Caldeira *et al.* (2012) e Caldeira *et al.*

(2013) observaram em seus trabalhos que o substrato com lodo de esgoto promoveu melhor desenvolvimento de *Tectona grandis* e de *Eucalipto urophylla* do que o substrato comercial.

Os valores encontrados para a altura da planta, o diâmetro do coleto e a relação H/MSPA (Tab. 6) não diferiram entre os substratos com vermicomposto e o substrato comercial, confirmando a observação de que, até aproximadamente 30% de adição de TD ao vermicomposto, favorece a qualidade desse material como substrato. Tal fato revela-se importante principalmente por ser a altura e suas relações morfológicas, excelentes indicadores de qualidade de mudas de *E. grandis* (GOMES *et al.*, 2002).

Especificamente sobre o diâmetro do coleto (Tab. 6), observa-se que os tratamentos não diferiram entre si, bem como, apresentaram valores acima dos valores mínimos padrões de qualidade recomendados na literatura, que são de 2,0 mm (WENDLING; DUTRA, 2010) e 2,5 mm (LOPES *et al.*, 2007).

No caso da relação H/MSPA, essa tem se apresentado como um critério morfológico indispensável para avaliação da viabilidade da muda para ser levada ao campo. Assim, quanto menor esta relação maior a lignificação e, conseqüentemente, maior possibilidade de sobrevivência da muda no campo (GOMES *et al.*, 2002, CALDEIRA *et al.*, 2011). Carneiro (1995) explica que essa relação indica o equilíbrio de crescimento da muda, recomendando valores entre 5,4 e 8,1 como ideais para produzir mudas de melhor qualidade. Contudo, nesta pesquisa, independente dos tratamentos, os valores obtidos ficaram bem acima do intervalo considerado satisfatório (Tab. 6), indicando maior crescimento e menor lignificação das mudas.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é um outro valor importante, o qual é indicado para avaliar a robustez da planta, já que leva em conta a relação H/MSPA e a

MSPA/MSR nos seus cálculos, sendo que quanto maior o IQD melhor é a qualidade das mudas (VIDAL *et al.*, 2006).

TABELA 6

Comparação entre as médias do substrato comercial (SC) e dos tratamentos com vermicomposto (PC) contendo diferentes proporções de terra diatomácea (TD) para a altura da planta (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura/massa seca da parte aérea (H/MSPA), relação H/DC e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>E. urophylla</i>					
TRAT	H (cm) ^{ns}	DC (mm) ^{ns}	H/MSPA ^{ns}	Relação H/DC	IQD
SC	19,12	2,87	32,49	66,7 A	0,13 A
T1	21,03	2,67	26,66	78,4 A	0,17 A
T2	24,19	2,86	23,72	82,0 B	0,24 B
T3	23,41	2,77	22,51	84,3 B	0,18 A
T4	20,35	2,73	24,75	74,6 A	0,15 A
T5	21,62	2,64	23,61	82,1 A	0,13 A
CV %	16,32	8,25	21,12	13,52	27,43

Notas: T1 = 0% TD + 100% PC; T2 = 7,53% TD + 92,47% PC, T3 = 15,06% TD + 84,94% PC, T4 = 22,59% TD + 77,41% PC, T5 = 30,12% TD + 69,88% PC; TRAT = Tratamento; ns = não significativo.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do substrato comercial (SC) não diferem deste, a 5% de probabilidade, pelo teste Dunnett.

Fonte: Da autora.

Apesar de ser um parâmetro importante, é também um dado bastante variável, já que depende de diversos fatores, como: espécie plantada, manejo das mudas no viveiro, volume do recipiente de plantio, idade de avaliação da muda, dentre outros (Caldeira *et al.*, 2013). Segundo Steffen *et al.* (2011) os valores de IQD variam entre 0,12 e 0,21 para mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em substratos compostos por misturas de vermicomposto e turfa em diferentes proporções. Pode-se inferir, com base no IQD da Tabela 6, que as mudas atingiram boa qualidade quando cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto e TD, uma vez que os valores encontrados se situaram entre 0,13 e 0,18 e foram em geral iguais ao substrato comercial, sendo o valor máximo de 0,24 foi encontrado para o T2, com menor proporção de TD (7,53%), sendo esse tratamento superior ao IQD obtido para o substrato comercial.

A fitotoxicidade é outro fator importante a ser observado no uso de substratos para a produção de mudas, já que influencia diretamente no crescimento das plantas.

Caso as mudas apresentem aspectos de dificuldade de crescimento, ou alterações físicas tanto na cor quanto na morfologia das folhas, é possível que o substrato utilizado seja fitotóxico e esteja limitando o seu crescimento. Hernández (1992) destaca a possibilidade de excreção de substâncias fitotóxicas em compostos orgânicos, o que pode causar danos às plantas, limitando assim o seu uso. Todavia, as mudas deste experimento não apresentaram sintomas de fitotoxicidade, sendo o comportamento da parte aérea semelhante ao observado para o substrato comercial, indicando que o vermicomposto produzido é livre de fitotoxicidade.

Os teores de potássio, magnésio, enxofre, cobre, zinco e manganês da parte aérea não foram influenciados pelo aumento da proporção de TD no vermicomposto (Tab. 7), contudo, o fósforo e o cálcio apresentaram aumento linear.

No caso do fósforo e do cálcio, houve maior concentração desses nutrientes na parte aérea com o aumento da quantidade de TD adicionada ao vermicomposto, até 30,12% v/v. Pode-se inferir, pela Tabela 1, que o cálcio presente pode ter sido elevado devido à presença deste elemento na TD, contribuindo para a elevação do seu teor no vermicomposto e aumento da disponibilidade para as plantas.

Para o fósforo, o aumento na sua absorção pelas plantas pode ter ocorrido em razão da redução da área superficial do substrato com a adição de TD, o que fez com que os níveis deste elemento em solução permanecessem mais elevados, aumentando a sua disponibilidade.

TABELA 7

Equações de regressão ajustadas para os teores de nutrientes da parte aérea de mudas de *E. urophylla* cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea

Atributo	Equações de regressão ajustadas	R ²	CV (%)	TVM
P (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,15 + 0,0007^*x$	0,73	17,89	0,17
K (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,76 \pm 0,03$	---	33,42	0,76
Ca (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,33 + 0,001^*x$	0,61	15,93	0,36
Mg (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,18 \pm 0,01$	---	23,76	0,18
S (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 3,07 \pm 0,43$	---	10,44	3,07
Cu (mg kg ⁻¹)	$\bar{y} = 13,02 \pm 2,98$	---	9,86	13,02
Zn (mg kg ⁻¹)	$\bar{y} = 36,11 \pm 3,50$	---	15,98	36,11
Mn (mg kg ⁻¹)	$\bar{y} = 45,28 \pm 6,15$	---	35,10	45,28

TVM – Teor do nutriente no vermicomposto com maior dose de TD; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; * – Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Da autora.

Os teores de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco e manganês da parte aérea da planta não apresentaram diferenças entre os tratamentos com substrato de vermicomposto de TD e lodo de esgoto e o substrato comercial (Tab. 8). Contudo, para o potássio, os tratamentos com percentual de TD variando de 15,06 a 30,12% apresentaram teores desse elemento iguais ao do substrato comercial.

Os teores de fósforo e de enxofre nas folhas de eucalipto ficaram acima da faixa considerada ideal, conforme Martinez *et al.* (1999) (Tab. 8). Para o cobre, os valores só extrapolaram a faixa ideal nos tratamentos com lodo de esgoto e TD. Por outro lado, mesmo no substrato comercial, os teores de potássio, cálcio, magnésio, manganês e, em geral, o zinco, ficaram abaixo da faixa ideal para as plantas, com destaque para o fato de que, no substrato comercial, o cobre também não atingiu o nível considerado adequado para a planta.

TABELA 8

Teores de nutrientes na parte aérea de mudas de <i>E. urophylla</i> cultivadas em substrato de vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea								
Trat	P ^{ns}	K	Ca ^{ns}	Mg ^{ns}	S ^{ns}	Cu ^{ns}	Zn ^{ns}	Mn ^{ns}
	----- dag kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
SC	0,17	0,85 A	0,34	0,17	0,24	7,02	15,49	55,27
T1	0,15	0,75 B	0,34	0,19	0,37	11,09	35,98	51,27
T2	0,17	0,72 B	0,33	0,19	0,32	18,08	36,37	48,79
T3	0,18	0,81 A	0,35	0,16	0,29	13,33	41,66	49,11
T4	0,17	0,78 A	0,39	0,18	0,27	11,70	34,34	38,84
T5	0,17	0,76 A	0,37	0,17	0,28	10,92	32,22	38,41
FI	0,10-0,12	1,0-1,2	0,8-1,2	0,4-0,5	0,15-0,20	8-10	40-60	100-600
CV (%)	12,46	6,72	9,68	17,26	14,33	42,21	20,66	8,25

Notas: Trat = Tratamento; FI = Faixa ideal (Martinez et al., 1999); SC = substrato comercial; T1 = 0% TD + 100% PC, T2 – 7,53% TD + 92,47% PC, T3 – 15,06% TD + 84,94% PC, T4 – 22,59% TD + 77,41% PC, T5 – 30,12% TD + 69,88% PC.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do SC, não diferem deste a 5% de probabilidade pelo teste Dunnett. NS = não significativo a 5%.

Fonte: Da autora.

Os teores de cálcio, magnésio, enxofre e zinco na raiz do eucalipto não foram influenciados pelo incremento da TD no vermicomposto de lodo de esgoto (Tab. 9). Por outro lado, os teores de fósforo, manganês e cobre diminuíram, enquanto os teores de potássio aumentaram, com o incremento de TD no vermicomposto de lodo de esgoto.

Embora a TD seja pouco concentrada nos nutrientes mencionados, o que justificaria os menores teores observados na raiz com o seu incremento, para o potássio, houve um efeito contrário, possivelmente associado ao aumento da absorção por difusão e fluxo de massa, uma vez que a TD promove maior retenção de água no substrato. Tal fato pode também ter influenciado a absorção de fósforo, que, apesar de ter diminuído nas raízes, aumentou nas folhas (Tab. 7).

TABELA 9

Equações de regressão ajustadas para os nutrientes analisados na raiz de mudas de *E. urophylla* cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea

Nutrientes	Equações de regressão	R ²	CV (%)	TVM
Ca (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,29 \pm 0,05$	---	18,92	0,29
Mg (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,23 \pm 0,01$	---	17,44	0,23
P (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,33 - 0,0019^{***}x$	0,92	12,37	0,27
K (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,61 + 0,0021^*x$	0,72	10,83	0,68
S (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,03 \pm 0,02$	---	26,69	0,03
Zn (mg kg ⁻¹)	$\bar{y} = 307,48 \pm 38,59$	---	15,11	307,48
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 63,09 - 0,7283^{***}x$	0,79	21,17	41,15
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 71,33 - 0,5495^{\circ}x$	0,54	24,50	54,77

TVM – Teor do nutriente no vermicomposto com maior dose de TD; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; °, *, **, *** – Significativo a 0,10, 0,05, 0,01, 0,001 de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Fonte: Da autora.

Os teores de cálcio, magnésio, enxofre, potássio e manganês na raiz de eucalipto, nos tratamentos com vermicomposto de lodo de esgoto e TD, não diferiram dos teores encontrados no substrato comercial (Tab. 10). Por outro lado, os teores de fósforo, cobre e zinco na raiz foram mais elevados nos tratamentos com vermicomposto de lodo de esgoto e TD do que no substrato comercial.

Tal fato evidencia que os substratos produzidos a partir de lodo de esgoto podem contribuir efetivamente para a nutrição de mudas de eucalipto, principalmente em relação ao cobre e zinco.

TABELA 10

Teores de nutrientes na raiz de mudas de <i>E. urophylla</i> cultivadas em substrato de vermicomposto com diferentes proporções de lodo de esgoto e terra diatomácea								
Trat	Ca ^{ns}	Mg ^{ns}	P	S ^{ns}	K ^{ns}	Cu	Zn	Mn ^{ns}
	----- dag kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----				
SC	0,28	0,23	0,19 A	0,01	0,60	21,21 A	81,45 A	48,05
T1	0,30	0,24	0,33 B	0,07	0,62	68,35 B	287,1 B	63,53
T2	0,25	0,23	0,33 B	0,02	0,60	78,30 B	306,6 B	61,91
T3	0,26	0,22	0,30 B	0,02	0,63	49,95 B	358,1 B	45,01
T4	0,25	0,22	0,28 B	0,02	0,64	63,74 B	257,1 B	46,23
T5	0,38	0,22	0,28 B	0,02	0,68	54,94 B	328,5 B	43,95
CV%	38,76	14,89	13,38	19,9	8,42	29,32	30,16	26,87

Notas: Trat = Tratamento; SC = substrato comercial; T1 = 0% TD + 100% PC, T2 = 7,53% TD + 92,47% PC, T3 = 15,06% TD + 84,94% PC, T4 = 22,59% TD + 77,41% PC, T5 = 30,12% TD + 69,88% PC.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do SC, não diferem deste a 5% de probabilidade pelo teste Dunnett. NS = não significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos substratos ao final do cultivo revela que não houve influência do incremento de TD ao vermicomposto de lodo de esgoto para o cálcio, magnésio, fósforo e enxofre (Tab. 11). No entanto, para o potássio, zinco, manganês e cobre, houve redução nas suas concentrações na medida em que maior proporção de TD foi adicionada ao vermicomposto. Pode-se atribuir tais reduções ao baixo teor destes elementos na TD e, para alguns nutrientes, a uma maior absorção pelas plantas.

TABELA 11

Equações de regressão ajustadas para os nutrientes analisados no substrato de mudas de *E. urophylla* cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea

Nutrientes	Equações de regressão	R ²	CV (%)	TVM
Ca (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,16 \pm 0,02$	---	26,81	0,02
Mg (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,52 \pm 0,03$	---	31,13	0,52
P (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 3,06 \pm 0,06$	---	12,66	3,06
K (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 2,13 - 0,006*x$	0,94	11,14	1,94
S (dag kg ⁻¹)	$\bar{y} = 0,20 \pm 0,001$	---	9,87	0,20
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 646,25 - 5,6474*x$	0,65	15,89	476,15
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 383,90 - 2,6069*x$	0,96	26,47	305,38
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 471,47 - 4,0133***x$	0,91	13,25	350,59

TVM – Teor do nutriente no vermicomposto com maior dose de TD; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; °, *, **, *** – Significativo a 0,10, 0,05, 0,01, 0,001 de probabilidade pelo teste t, respectivamente. Fonte: Da autora.

Com base na tabela 12, observa-se que os teores dos nutrientes nos substratos com lodo de esgoto e TD foram iguais ou superiores aos teores observados no substrato comercial. Isso indica que o vermicomposto formado é rico em nutrientes essenciais para as mudas, caracterizando-o como um substrato de boa qualidade. Além disso, foram comprovados seus benefícios por meio das análises morfológicas realizadas nas mudas e relatadas anteriormente.

TABELA 12

Teores de nutrientes no substrato composto por lodo de esgoto contendo diferentes proporções de terra diatomácea e cultivados com mudas de <i>E. urophylla</i>								
Trat	Ca ^{ns}	Mg	P	S ^{ns}	K	Cu	Zn	Mn
----- dag kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----				
SC	0,13	0,41 A	0,93 A	0,203	0,17 A	40,59 A	34,50 A	264,25 A
T1	0,16	0,53 B	3,09 B	0,209	2,71 B	479,43 B	681,25 B	383,00 B
T2	0,19	0,55 B	3,13 B	0,204	2,91 B	447,23 B	598,50 B	359,25 B
T3	0,15	0,51 B	3,03 B	0,204	2,71 B	390,10 B	528,500B	353,75 B
T4	0,16	0,52 B	3,10 B	0,203	2,56 B	372,90 B	459,75 B	325,25 B
T5	0,15	0,48 B	2,97 B	0,204	2,42 B	365,50 B	538,00 B	301,75 A
CV	28,87	12,87	2,93	5,4	9,83	10,39	26,29	11,81

Notas: Trat = Tratamento; SC = substrato comercial; T1 = 0% TD + 100% PC, T2 – 7,53% TD + 92,47% PC, T3 – 15,06% TD + 84,94% PC, T4 – 22,59% TD + 77,41% PC, T5 – 30,12% TD + 69,88% PC.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do SC, não diferem deste a 5% de probabilidade pelo teste Dunnett. NS = não significativo a 5%.

Fonte: Da autora.

A condutividade elétrica apresentou um ajuste quadrático, conforme apresentado na Tabela 13. Shannon *et al.* (1994) indica que concentrações de sal com condutividades elétricas maiores do que 4 dS m⁻¹ podem interferir negativamente no desenvolvimento das espécies vegetais, diminuindo a sua produtividade. Já Waisel; Eshel (1991) concluíram que a massa seca das raízes finas de *E. robusta* é aumentada quando em condutividade de 6 dS m⁻¹, e Mendonça *et al.* (2007) concluíram que o aumento da salinidade não interfere no comprimento e área das raízes de eucalipto, porém, em algumas espécies, valores de condutividade elétrica de 8,33 dS m⁻¹ podem causar redução da massa seca das raízes grossas. Neste trabalho, encontramos

valores bem abaixo dos citados, com pico máximo de $0,91 \text{ dS m}^{-1}$ para a maior proporção de TD adicionada (30,12% v/v), o que indica que não houve efeito salino adverso em relação as raízes das mudas de eucalipto.

Ainda pôde-se perceber que a TD atuou aumentando a condutividade elétrica, já que seu acréscimo foi significativo quando comparado à testemunha pelo teste de Dunnett (Tab. 13). É possível observar que o tratamento somente com lodo de esgoto, sem TD, apresentou média próxima da encontrada para o substrato comercial, o que torna evidente o efeito da TD em elevar moderadamente os níveis de condutividade elétrica do substrato.

Lopes *et al.* (2008) apontam uma faixa de valores de pH entre 5,2 e 6,3 como ideal para o cultivo de plantas. O pH deste trabalho apresentou um comportamento linear crescente na medida em que se acrescentou a TD (Tab-13), sendo que, somente a partir de 29,33% v/v de TD, é que foi possível atingir o valor mínimo estabelecido por Lopes *et al.* (2008); porém os demais tratamentos não apresentaram valores muito distantes, podendo-se considerar que a faixa de pH dos substratos foi próxima do adequado, com destaque para o fato de que o substrato comercial apresentou valor bem menor, de 4,8.

O mecanismo de absorção do sódio é semelhante ao do potássio, fazendo com que haja competição entre estes elementos caso a concentração de sódio seja elevada (FREITAS *et al.*, 2012). Portanto, a relação entre o potássio e o sódio é um bom indicador para a viabilidade da muda. Como observamos um comportamento adequado para o potássio, com padrões satisfatórios tanto na parte aérea quanto na raiz, podemos inferir que a quantidade de sódio no substrato não causou desequilíbrios na planta, não afetando o desenvolvimento das mudas de eucalipto, apesar do aumento

linear crescente de deste elemento com o aumento da proporção de TD adicionada ao vermicomposto (Tab. 13).

TABELA13

Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos analisados em substrato de mudas de *E. urophylla* cultivadas em vermicomposto de lodo de esgoto com diferentes proporções de terra diatomácea

Atributo	Equações de regressão	R ²	CV (%)	TVM	TMP
CE (dS m ⁻¹)	$\hat{y} = 0,93 - 0,0189*x + 0,0006*x^2$	0,91	12,3	0,90	---
pH água	$\hat{y} = 4,98 + 0,0075***x$	0,80	24,2	5,2	6
DA (g cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,64 - 0,0029*x$	0,71	11,9	0,55	---
Na (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 0,06 + 0,0005***x$	0,85	31,8	0,07	---
Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)	$\hat{y} = 43,34 - 0,2182**x$	0,99	22,9	36,76	---
Resíduo Mineral Total (%)	$\hat{y} = 56,65 + 0,2182**x$	0,99	20,6	63,22	---
Resíduo Mineral Solúvel (%)	$\hat{y} = 21,78 - 0,2013**x$	0,71	21,8	15,71	---
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	$\hat{y} = 34,87 + 0,4195*x$	0,81	21,3	47,50	---

TVM – Valor do atributo no vermicomposto com maior dose de TD; TMP – Valor máximo permitido pela IN 25/2009; ns – Não significativo até 0,10 de probabilidade pelo teste t; °, *, **, *** – Significativo a 0,10, 0,05, 0,01, 0,001 de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Fonte: Da autora.

Ao comparar os valores obtidos pelos tratamentos de vermicomposto com o substrato comercial, percebemos que apenas os tratamentos T3, T4 e T5 diferiram da testemunha, ou seja, quanto maiores são os teores de TD, maiores também os teores de sódio no substrato (Tab. 14).

Com relação à densidade aparente, percebemos uma redução nos seus valores médios a medida em que se aumenta a proporção de TD, com um comportamento linear decrescente (Tab. 13), sem contudo haver diferença para o substrato comercial (Tab. 14). Lopes *et al.* (2008) indicam um valor ótimo de densidade aparente entre 0,45 e 0,55 g cm⁻³, porém, foram encontrados valores superiores a estes em todos os tratamentos de vermicomposto.

A compactação de qualquer material não é desejável visto que pode limitar o crescimento das raízes e conseqüentemente o desenvolvimento total da planta, mas

com o acréscimo da TD, podemos deduzir que sua função de condicionante físico foi adequada diante dos resultados encontrados.

TABELA 14

Condutividade elétrica (CE), pH em água, sódio e densidade aparente (DA) no substrato composto por lodo de esgoto e diferentes proporções de terra diatomácea cultivado em mudas de <i>E. urophylla</i>				
Trat	CE (dS m⁻¹)	pH água	Na (dag kg⁻¹)	DA (g cm⁻³)^{ns}
SC	0,78 A	4,8 A	0,05 A	0,46
T1	0,94 A	4,9 A	0,06 A	0,67
T2	1,02 B	5,0 B	0,07 B	0,59
T3	1,08 B	5,0 B	0,07 B	0,58
T4	1,10 B	5,1 B	0,07 B	0,57
T5	0,98 B	5,2 B	0,07 B	0,57
CV	13,65	2,28	12,98	11,25

Notas: Trat = Tratamento; SC = substrato comercial; T1 = 0% TD + 100% PC, T2 = 7,53% TD + 92,47% PC, T3 = 15,06% TD + 84,94% PC, T4 = 22,59% TD + 77,41% PC, T5 = 30,12% TD + 69,88% PC.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra do SC, não diferem deste a 5% de probabilidade pelo teste Dunnett. NS = não significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pela autora.

A matéria orgânica total apresentou ajuste linear decrescente com o incremento da TD ao vermicomposto de lodo de esgoto (Tab. 13). Tal fato é atribuído a redução do volume da principal fonte de matéria orgânica da mistura, que é o lodo de esgoto, o que faz também com que aumente a percentagem de resíduo mineral total e resíduo mineral insolúvel e diminua o resíduo mineral solúvel.

Lopes *et al.* (2008) estabelecem que um substrato ideal deve conter mais de 80% de matéria orgânica em sua composição, porém os resultados apresentados por este trabalho não atingiram os níveis sugeridos. No entanto, foi possível observar um bom desenvolvimento das mudas, mesmo no menor valor de matéria orgânica encontrado na dose de 30,12% v/v de TD, de 36,57 dag kg⁻¹ (Tab. 13). Convém destacar, porém, que os teores de matéria orgânica do vermicomposto adicionado de TD foram um pouco menores do que o teor do substrato comercial (Tab. 15).

TABELA 15

Teores de matéria orgânica, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e insolúvel no substrato composto por lodo de esgoto e diferentes proporções de terra diatomácea cultivado em mudas de <i>E. urophylla</i>				
Trat	MO (%)	RMT (%)^{ns}	RMS (%)	RMI (%)
SC	42,51 A	57,49	9,11 A	33,40 A
T1	43,20 B	56,80	19,12 B	37,67 A
T2	41,72 B	58,28	22,56 B	35,75 A
T3	40,27 B	59,73	21,28 B	38,44 A
T4	38,54 B	61,45	16,00 A	45,45 B
T5	36,57 B	63,42	14,81 A	48,61 B
CV	5,49	14,85	32,37	14,32

Notas: Trat = Tratamento; SC = substrato comercial; T1 = 0% TD + 100% PC, T2 = 7,53% TD + 92,47% PC, T3 = 15,06% TD + 84,94% PC, T4 = 22,59% TD + 77,41% PC, T5 = 30,12% TD + 69,88% PC.

Médias dos tratamentos na coluna com a mesma letra não diferem a 5% de probabilidade, pelo teste Dunnett.ns = não significativo.

Fonte: Da autora.

Ao comparar os dados de resíduo mineral encontrados no vermicomposto com os valores encontrados no substrato comercial, verificou-se que não foi significativo (Tab. 15). Todavia, a partir de 22,59% v/v de TD no vermicomposto, houve redução na percentagem de resíduo mineral solúvel e aumento do resíduo mineral insolúvel no substrato. Por ser um resíduo insolúvel com boas características de retenção de água, acaba tendo uma função importante como condicionador do substrato.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o vermicomposto de lodo de esgoto e terra diatomácea pode ser utilizado para a produção de mudas de *E. urophylla* sem prejuízo ao seu desenvolvimento, e que esse substrato não apresenta fitotoxicidade para as plantas.

O substrato formado a partir de vermicomposto de lodo de esgoto e terra diatomácea proporciona condições químicas e físicas favoráveis e próximas as do substrato comercial para o desenvolvimento de mudas de *E. urophylla*.

A terra diatomácea embebida em óleo acrescentada ao lodo de esgoto para a vermicompostagem não causa alterações negativas no crescimento das mudas de *E. urophylla*, quando usado como substrato.

REFERÊNCIAS

ABAD, M; MARTÍNEZ, P. F; MARTÍNEZ, M. D; MARTÍNEZ, J. Evaluación agronômica de los sustratos de cultivo: jornadas de Substratos. **Actas de Horticultura**, Lisboa, n. 11, p. 141-154, 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: 2004.

ALCARDE, J. C. **Manual de Análise de Fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ. 2009. 259p.

ANDRADE, C. A.; **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de *Eucalyptus grandis* após a aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999, 65f. Dissertação. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP.

ANTONIDES, L. E; U.S. **Mineral Commodity Sumaries** - Diatomite 1998. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/index.html#mcs>> Acesso em 20/07/2014.

AQUINO, A. M; ALMEIDA, D. L. de; SILVA, V. F. da. **Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem**. Comunicado Técnico. Embrapa. 1992.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p.94-101, 2002.

BARBOSA, G. M. de C.; TAVARES FILHO, J; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.31, p.601-605, 2007a.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 1, p. 65-70, 2007b.

BIONDI, C. M.; Nascimento, C. W. A. do. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v.18, p.123-128, 2005.

BRANCO, P. M de; In: CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Os muitos usos do diatomito**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Os-Muitos-Usos-do-Diatomito-1296.html> Acesso em 11/02/2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa n. 27, de 09 de junho de 2006**. Disponível em: <<https://legisweb.com.br/legislacao/?id=76854>>. Acesso em 24/05/2015. 2006a

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006**. Disponível em: https://fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506. Acesso em 20/04/2016. 2006b

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 24/05/2015.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-rural/apoio-a-projetos/item/7594-compostagem>. Acesso em 02/08/2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 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. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506>. Acesso em: 10/03/2015.

CALDEIRA, M. V, W; SCHUMACHER, M. V; BARICHELLO, L. R; VOGEL, H, L, M; OLIVEIRA, L. S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, v. 28, n. 1/2, p.19-30, 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**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 77 - 84, 2012.

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

CARDOSO, A. I. I.; FERREIRA, K. P.; VIEIRA JÚNIOR, R. M.; ALCARDE, C. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 594-599, 2011.

CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/Fupec, 1995.

CIEMIL – Comércio, indústria e exportação de minérios Ltda. Disponível em <<http://www.ciemil.com.br>>. Acesso em 20/07/2014.

CORRÊA, J. C; BÜL, L. T; MAUAD, M; TECCHIO, M. A; CRUSCIOL, C. A.C; Caracterização química em substratos de resíduos industriais e urbanos para a obtenção de mudas de café. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.238-248, 2006.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.420–426, 2007.

DINIZ, K. A; GUIMARÃES, S. T. M. R; LUZ, J. M. Q. Húmus como Substrato para a Produção de Mudas de Tomate, Pimentão e Alface. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 63-70, 2006.

DOLLEY, T. P; U.S. **Mineral Commodity Sumaries – Diatomite**. Diatomite, 2000. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/index.html#mcs> Acesso em 20/07/2014.

DOMÍNGUEZ, J.; EDWARDS, C.A. Biology and ecology of earthworms species used for vermicomposting. In: EDWARDS, C.A.; ARANCON, N.Q.; SHERMAN, R.L. (Eds.) **Vermiculture Technology: earthworms, organic waste and environmental management**. Boca Rota, Florida: CRC Press, 2010, p.25-37, 604p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de solos. 1997. 212p.

EPA, Environmental Protection Agency. **Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Method 3051, 1994.

EPSTEIN, E.; TAYLOR, J.M. & CHANEY, R.L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 5, p. 422- 426, 1976.

EPSTEIN, E.; **Land application of sewage sludge and biosolids**. 1.ed., London, New York, Washington: Lewis Publishers, 220 p. 2003.

FERNANDES, M. R. F; SAMPAIO, R. A; BILAL, E; LAZO, J. A; FERNANDES, L. A. Biodiesel Solid Waste and Urban Sludge Sewage as a Soil Amendment for the Seedlings Production of *Eucalyptus camaldulensis* and *Morus alba*. **Banat's Journal of Biotechnology**, v. 10, 2014.

FOUNIE, A; U.S. **Mineral Commodity Sumaries – Diatomite**. Diatomite, 2006. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/index.html#mcs>>. Acesso em 20/07/2014.

FREITAS, T. A. S; CARNEIRO, J. G de A; MENDONÇA, A. V. R; SOUZA, J. S; OLIVEIRA, R. B de; LIMA, T. M. Produção de mudas de *Eucalyptus robusta* cultivadas em solução nutritiva, sob estresse salino. **Scientia Plena**, v. 8, 2012.

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

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptos e Pinus e Espécies típicas da Mata Atlântica***. Documentos Florestais. Piracicaba. 1-23, 1995.

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

GRANT, W, F. Chromosome aberration assays in *Crepis* for the study of environmental mutagens. **Mutation Research**, p. 291–307, 1998.

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**, 28:1069-1076, 2004.

HASHEMIMAJD, K.; JAMAATI-E-SOMARIN, S. Contribution of organic bulking materials on chemical quality of sewage sludge vermicompost. **Ciência e agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1077-1084, 2011.

HAUG, R.T. **The practical handbook of compost engineering**. Lewis Publishers.1993.

HERNÁNDEZ, T.C.; GARCIA, F.C.; VALERO, J.A.; AYUSO, M. Utilization of municipal wastes as organic fertilizers. **Suelo y Planta**, v.2, n.3, p.373-383, 1992.

HIGASHI, E. N; SILVEIRA, R. L. A. **Fertirrigação em viveiros de *Eucalyptose Pinus***. In: BOARETTO, A. E; VILLAS BOAS R. L; SOUZA, W. F; PARRA L. R. V. **Fertirrigação: Teoria e prática**. Piracicaba. SP. V.1. p. 677-775. 2004.

KIHEL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda. CERES: São Paulo, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: O autor, 1998. 173p.

KLEIN, S. L; Brasília: Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral. **Sumário mineral 2013**. Disponível em <[http:// www.dnmp.gov.br/](http://www.dnmp.gov.br/)>. Acesso em: 20/07/2014.

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

LEMAINSKI, J.; Silva, J. E. da. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1477-1484, 2006.

LEMONS JR, J. F; U.S. **Mineral Commodity Sumaries – Diatomite**. Diatomite. 1995. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/index.html#mcs>>. Acesso em 20/07/2014.

LOGAN, T.J.; LINDSAY, B.J.; GOINS, L.E. & RYAN, J.A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal Environment Quality**, 26:534-550, 1997.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERARDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, 2005.

LOPES, J. L. W; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 845-853, 2007.

LOPES, J. L. W; GUERRINI, I. A; SAAD, J. C. C; SILVA, M. R; Atributos Químicos e Físicos De Dois Substratos Para Produção De Mudas De Eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 358-367, 2008.

MAFIA, R. G; ALFENAS, A. C; SIQUEIRA, L. de; FERREIRA, E. M; LEITE, H. G; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério Técnico para Determinação da Idade Ótima de Mudas de Eucalipto para Plantio. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.947-953, 2005.

MARTÍNEZ, L. F. **Efecto de la Diatomita en las Propiedades del Suelo para Reducir el Impacto Ambiental Causado por el uso de Fertilizantes Químicos**. Toluca, México, Diciembre de 2013 Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química. Tese. 2013.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

MENDONÇA, A. V. R; CARNEIRO, J. G. A; BARROSO, D. G; SANTIAGO, A. R; RODRIGUES, L. A; FREITAS, T. A. S. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus sp* sob estresse salino. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, 2007.

NASCIMENTO, C. W. A; BARROS, D. A. S; MELO, E. E. C; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 385-392, 2011.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, G. R; CARNEIRO, J. P.; RODRIGUES, M. N.; ALBUQUERQUE, H. C. de. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge stabilized by different processes. **Revista Ceres**, v.60, n.5, p.683-689, 2013.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; CRUZ, S. F. da; ZUBA JUNIO, G. R.; BARBOSA, C. F.; FERNANDES, L. A. Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.694–699, 2014.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: Carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 505-519, 2002.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. de; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; OLIVEIRA, E. A. de. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

PAIXÃO, A. F.; SOARES C. P. B; JACOVINE, L. A. G; SILVA, M. L; LEITE, H. G; SILVA, G. F. Quantificação do Estoque de Carbono e Avaliação Econômica de Diferentes Alternativas de Manejo em um Plantio de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.411-420, 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E. P; SANTOS, P. E; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

PANDAY, R.; BASNET, B. B.; BHATT, P. S.; TAMRAKAR, A. S. Bioconcentration of heavy metals in vermicomposting earthworms (*Eisenia fetida*, *Perionyx excavatus* and *Lampito mauritii*) in Nepal. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v.3, p.416-418, 2014.

PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, v.3, p.73-80, 2011. [https:// doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364](https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364)

PIGOZZO, A. T. J.; LENZI, E.; LUCAS JÚNIOR, J. de; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; COSTA A. C. S. da. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.569-579, 2008.

PIMENTEL, P. A; PACCOLA, A. A. Análise físico-química e energética do resíduo da terra diatomácea usada na filtração de cerveja. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 22, n.2, p.69-80, 2007.

RICCI, M. dos S. F; **Manual de Vermicompostagem**. Porto Velho, RO: Embrapa – CPAF – Rondônia. 1996. 23p.

SANTANA, R. C; BARROS, N. F; NOVAIS, R. F; LEITE, H. C; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 32:2723-2733, 2008.

SHANNON, M. C.; CRIEVE, C. M.; FRANCOIS, L. E. **Whole Plant Response to Salinity**. In: WILKIMAN, R. E. (Ed.) Plant Environment Interactions. New York: Marcel Dekker, p.199-244. 1994.

SILVA. P. R. D; LANDGRAF, M. D; ZOZOLOTTO, T. C; REZENDE, M. O. O. Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo. **Eclética Química**, São Paulo, 35 - 3: 61 - 67, 2010.

DORES-SILVA, P. R. D; LANDGRAF, M. D; REZENDE, M. O. O. Acompanhamento químico da Vermicompostagem de Lodo Doméstico. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 956-961, 2011a.

DORES-SILVA, P. R. D; LANDGRAF, M. D; REZENDE, M. O. O. Avaliação do potencial agrônômico de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.565-571, 2011b.

SOUZA, Renata Priscila de Araújo. **Obtenção de filtro cerâmico a partir da diatomita e casca de arroz carbonizada visando tratamento de efluente têxtil**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – RN. Dissertação nº84/PPGCEM. 2011. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12731/1/RenataPAS_DISSERT.pdf <>. Acesso em 24 Abr 2015.

STEFFEN, G. P. K; ANTONIOLLI, Z. I; STEFFEN, R. B; SCHIEDECK, G. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 75-82, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

WASEL, Y.; ESHEL, A. Multiform behavior of various constituents of one root system
In: WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots - The hidden half**. New York:
Marcel Dekker, 1991. p.39-52.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto por sementes**. In:
WENDLING, I.; DUTRA, L. F. *Produção de mudas de eucalipto*. Colombo: Embrapa
Florestas, 2010. p. 13-47.

ZIBETTI, V. K; NACHTIGAL, G. F; LIMA, D. F; SCHIEDECK G; Crescimento e
Reprodução de Minhocas em Misturas de Resíduos Orgânicos e Efeitos nas
Propriedades Químicas e Microbiológicas do Húmus. **Interciência**, v. 40, n. 1, 2015.