

Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto

José Henrique Tertulino Rocha¹, Clarice Backes², Fernanda Asti Diogo³, Camila Boldorini Pascotto⁴, Karla Borelli⁴

¹Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Avenida Pádua Dias, nº 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil

²Universidade Estadual de Goiás, Rua da Saudade com Viela B, nº 56 Vila Eduarda, CEP 76100-000, São Luís dos Montes Belos, GO, Brasil

³Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Av. Prof. Montenegro, Distrito de Rubião Junior, s/nº, CEP 18618970, Botucatu, SP, Brasil

⁴Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça, Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros, KM 420, CEP 17400-000, Garça, SP, Brasil

*Autor correspondente:
josehrocha@bol.com.br

Termos para indexação:
Aproveitamento de resíduos
Eucalyptus urophylla x *E. grandis*
Qualidade de mudas

Index terms:
Residue destination
Eucalyptus urophylla x *E. grandis*
Seedling quality

Histórico do artigo:
Recebido em 27/10/2011
Aprovado em 21/02/2013
Publicado em 31/03/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.331

Resumo - Objetivou-se com o trabalho avaliar o uso de composto de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Doses de composto de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada foram estabelecidas com as seguintes proporções (v/v): 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60 e 20/80, as quais foram comparadas ao substrato comercial comumente utilizado em viveiros. Os resultados de crescimento e nutrição com o uso de substratos contendo composto de lodo de esgoto foram maiores do que com o substrato comercial. A utilização de composto de lodo de esgoto em níveis acima de 40% é favorável ao desenvolvimento das mudas, sendo uma forma viável de destinação deste material.

Sewage sludge as substrate for seedlings of eucalyptus

Abstract - The present work evaluated the use of sewage sludge compost as a substrate component for *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* seedling production. Doses of sewage sludge compost and rice hulls were established with the following proportions (v/v): 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60 and 20/80, and they were compared to commercial substrate commonly used in the nursery. Higher growth rates were observed on seedlings grown on substrates containing sewage sludge than on those containing commercial substrate. The use of sewage sludge compost in the substrate at levels above 40% is favorable to seedlings growth, being a viable form of disposal of this material.

Introdução

Lodo de esgoto é o resíduo sólido de maior volume gerado durante os processos de tratamento de efluentes. O acúmulo desse material nos pátios das estações de tratamento pode constituir uma ameaça ao meio ambiente, comprometendo parcialmente os efeitos benéficos da coleta e tratamento de esgoto (Brady & Weil, 2012).

Devido a seu grande potencial como fertilizante e condicionador de solo, esse resíduo tem sido testado

em milho e feijão (Nascimento et al., 2004), cana-de-açúcar (Silva et al., 1998; Marques et al., 2007.), soja (Corrêa et al., 2008), girassol (Lobo & Grassi Filho, 2007) e gramados (Backes et al., 2009), além de outras culturas, mostrando o potencial de aproveitamento para esse fim. Apresenta, porém, grande limitação de uso em sistemas agrícolas e florestais, devido à presença de elementos potencialmente tóxicos (Mulchi et al., 1991; Hooda & Alloway, 1993; Revoredo & Melo, 2006), que podem expressar seu potencial poluente diretamente

nos organismos do solo e às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar através das próprias plantas ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície.

Deve-se salientar que além de nutrientes e metais pesados, o lodo pode conter patógenos. Hue (1995) informa que bactérias, vírus, protozoários e vermes inevitavelmente estarão presentes nesses resíduos e que as quantidades e as espécies destes patógenos variam com as condições sócio-econômicas da população, hábitos sanitários e com a eficiência dos processos de tratamento, os quais reduzem, mas não eliminam completamente a presença desses organismos (Soccol, 1997).

O uso do lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas florestais pode contribuir para minimizar problemas com a contaminação ambiental por elementos potencialmente tóxicos, visto que a quantidade de substrato contida nos recipientes é insignificante perto do volume de solo em que essas mudas são plantadas. Além disso, as culturas florestais são de ciclo longo, com isso a frequência de plantio é bem reduzida, minimizando ainda mais os problemas de contaminação. Com o presente estudo, objetivou-se avaliar o uso de composto de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas clonais de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis*.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no viveiro de mudas clonais de eucalipto do campus experimental Vulcano I, pertencente à Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça (FAEF). O viveiro está localizado no

município de Garça (SP), nas coordenadas: 22°13'31" S e 49°40'21" W, a 600 metros de altitude, com precipitação média anual de 1.300 mm e temperatura média anual de 22 °C.

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e quatro repetições, com 30 mudas por repetição. Os tratamentos foram compostos por diferentes proporções de composto a base de lodo de esgoto (CLE) e casca de arroz carbonizada (CAC), mais um tratamento com a utilização do substrato comercial (SC) (Tabela 1).

O CLE foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jundiaí, SP, a qual utiliza o processo de lagoas aeradas de mistura completa, seguida de lagoa de decantação. O lodo, recém desaguado (com 800 g kg⁻¹ de umidade), foi misturado ao material celulósico (podas de árvores trituradas), na proporção volumétrica de 1:1. A mistura de lodo e material celulósico foi revolvida diariamente, por um período de 21 dias. Após este período, as leiras foram empilhadas em área protegida por mais 30 dias.

Foram feitas análises iniciais no composto para verificar a presença dos microrganismos e parasitas patogênicos. Para a determinação de coliformes, *Salmonella* e ovos viáveis de helmintos foram utilizadas as metodologias de Higaskino et al. (1995), Andraus et al. (1998) e Soccol et al. (2000), respectivamente. De acordo com as análises, o processo de compostagem provavelmente permitiu a inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo e reduziu a quantidade de coliformes termotolerantes (1,9 x 10¹ NMP/g ST - número mais provável/g sólidos totais). Ainda de acordo com a análise, não foi detectada a presença de *Salmonella*. Nas

Tabela 1. Características químicas dos substratos avaliados.

Tratamentos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C/N
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
100% CLE	27	18	4	10	2	1,8	212	21750	582	1650	7,2	12/1
80% CLE + 20% CAC	25,5	16,8	4,2	9,4	1,9	1,7	198	20263	579	1542	7,2	13/1
60% CLE + 40% CAC	23,4	15,3	4,4	8,7	1,8	1,5	178	18198	576	1392	7,1	15/1
50% CLE + 50% CAC	22,1	14,2	4,5	8,2	1,8	1,4	166	16832	573	1294	7,1	17/1
40% CLE + 60% CAC	20,4	12,9	4,7	7,5	1,7	1,3	150	15136	571	1171	7	19/1
20% CLE + 80% CAC	15,3	9	5,2	5,7	1,4	0,9	103	10126	562	808	6,9	19/1
100% SC	8,5	2,6	2,2	2,7	1	0,6	15	3560	322	72	7,8	22/1

CLE: composto de lodo de esgoto; CAC: Casca de arroz carbonizada; SC: Substrato comercial

análises de elementos potencialmente tóxicos realizadas, verificou-se que os valores encontrados no composto estão abaixo dos limites estabelecidos pelas normas do CONAMA (2006), que regulamentam a utilização do lodo de esgoto na agricultura. As concentrações foram de 2,5; 4,1; 233,6; 32,0 e 82,7 mg kg⁻¹ de As, Cd, Cr total, Ni e Pb, respectivamente.

O SC utilizado como testemunha é composto por turfa de esfagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK.

A análise química dos substratos baseou-se no método de fertilizantes orgânicos, a qual determina os teores de nutrientes totais contidos nos materiais analisados, conforme orientação do Ministério da Agricultura (Brasil, 1988). As concentrações de macro e micronutrientes nos tratamentos são apresentadas na Tabela 1.

Foram utilizadas estacas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis*, apresentando cerca de 5 a 7 cm, com 3 a 4 pares de folhas reduzidas a 50% de área foliar. As estacas foram plantadas em tubetes de 50 cm³ acondicionados em bandejas de polipropileno com capacidade para 176 tubetes, suspensas em bancadas. Em seguida, as bandejas com as mudas foram transferidas para a casa de vegetação coberta com lona de polietileno transparente, sob nebulização contínua, de meia em meia hora, durante todo o dia, por um período de 29 dias. A temperatura média no interior da casa de vegetação foi de 23 °C e 35 °C (média das mínimas e máximas, respectivamente).

Após esse período, as mudas foram transferidas para a casa de sombra com cobertura de tela de sombreamento de 50%, onde permaneceram por 15 dias. Posteriormente, foram colocadas a pleno sol, onde permaneceram até o final do ciclo, que foi de 100 dias após o plantio. Durante todo esse período, as mudas não receberam nenhum tipo de adubação. Na casa de sombra as mudas receberam irrigação de 9 mm diários, dividida em oito irrigações. A pleno sol as mudas receberam irrigações diárias de 12 mm divididas em quatro irrigações.

O desenvolvimento das mudas foi analisado através dos parâmetros de crescimento: altura de plantas, diâmetro do colo, área foliar, acúmulo de matéria seca da parte aérea e raiz, além do percentual de aproveitamento das mudas (percentual de mudas aptas ao plantio no final do ciclo). As medidas de altura das mudas e diâmetro do colo foram realizadas aos 44, 76 e 100 dias após o plantio.

Aos 100 dias, as mudas foram retiradas dos tubetes e procedeu-se a lavagem cuidadosa do sistema radicular. As plantas foram cortadas à altura do colo para separar a parte aérea e raiz. Após a separação da parte aérea, foram retiradas as folhas para a determinação da área foliar das mudas, através de análise de imagem digital, conforme metodologia descrita por Godoy et al. (2007).

As raízes e partes aéreas de cada repetição foram secas a 65 °C até peso constante para a determinação da matéria seca, sendo a parte aérea triturada para posterior análise do teor total de N, P, K, Ca, Mg e S. Para esta análise, visando a avaliação do estado nutricional da planta, utilizou-se a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). O acúmulo de nutrientes pelas mudas foi obtido através da multiplicação da concentração de nutrientes pela quantidade de matéria seca da parte aérea.

Os dados foram submetidos à análise de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância (Box-Cox). Atendendo essas suposições os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar 4.2 (Ferreira, 2003). Os tratamentos que continham composto de lodo de esgoto em sua composição foram submetidos à análise de regressão, utilizando como variável independente o percentual de composto de lodo de esgoto na composição do substrato. Esta análise foi realizada utilizando o software SAS 9.2 for Windows (PROC REG).

Resultados e discussão

O tratamento composto por SC foi o que apresentou o menor desenvolvimento em altura nas três épocas avaliadas, e em diâmetro aos 100 dias após o plantio, não apresentando diferenças nas demais épocas. Analisando os tratamentos que continham CLE em sua composição, houve um comportamento linear crescente na altura aos 76 dias e diâmetro aos 100 dias, apresentando os maiores desenvolvimentos desses parâmetros na proporção de 100% CLE no substrato. Já para altura e relação altura diâmetro aos 100 dias, o comportamento foi quadrático, com o desenvolvimento máximo ocorrendo na proporção estimada de 73 e 67% de CLE, respectivamente (Tabela 2).

Como os tratamentos não receberam nenhum tipo de adubação mineral extra, as baixas concentrações dos nutrientes nos substratos 100% SC e 20% CLE + 80% CAC (Tabela 1) provavelmente não foram suficientes para manter um adequado desenvolvimento das mudas.

Tabela 2. Diâmetro médio (n = 4) do caule e altura de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamentos ¹	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Altura	Diâmetro	Relação H/D
	Dias após o plantio						
	-----44 dias-----		-----76 dias-----		-----100 dias-----		
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	
100% CLE	8,0 (0,4) ² a ³	1,5 (0,1)a	13,5 (0,3) a	2,2 (0,1)a	21,0 (2,8) a	3,4 (0,3) a	6,1(0,3) ab
80% CLE + 20% CAC	8,0 (0,2) a	1,7 (0,1)a	12,1 (0,6) ab	2,5 (0,1)a	20,0 (1,3) a	3,3 (0,1) a	6,0 (0,3) ab
60% CLE + 40% CAC	8,2 (0,4)a	1,5 (0,1)a	12,2 (0,9) ab	2,4 (0,1)a	21,7 (2,0) a	3,3(0,2) a	6,4 (0,3)a
50% CLE + 50% CAC	8,2 (0,3) a	1,7 (0,1)a	11,7 (0,3)ab	2,1 (0,2)a	18,9 (2,2) a	3,0 (0,2) ab	6,2 (0,4) ab
40% CLE + 60% CAC	8,6 (0,4) a	1,6 (0,1)a	13,2 (0,5) ab	2,5 (0,1)a	22,0 (0,6) a	3,3 (0,1) a	6,6 (0,2)a
20% CLE + 80% CAC	7,5 (0,2) a	1,7 (0,1)a	10,6 (0,5) b	2,2 (0,1)a	14,6 (0,3) ab	2,8 (0,1) ab	5,2 (0,1) bc
100% SC	5,9 (0,2) b	1,7 (0,1)a	7,5 (0,8) b	2,1 (0,1)a	8,5 (0,8) b	2,0 (0,2) b	4,3 (0,1) c
Análise de regressão ⁴	ns	ns	L*Q ^{ns}	ns	L ^{ns} Q*	L*Q ^{ns}	L ^{ns} Q*

¹ CLE = composto de lodo de esgoto; CAC = casca de arroz carbonizada; SC = substrato comercial; ² Números entre parênteses: \pm erro padrão da média; ³ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁴ A análise de regressão linear (L) e quadrática (Q) foi feita utilizando como variável independente o percentual de CLE no substrato, e excluiu-se o tratamento 100% SC, avaliando a significância a nível de 5% (*), 1% (**) de probabilidade e a não significância dos modelos (ns).

De maneira geral, os tratamentos com quantidades do composto acima de 40% proporcionaram o maior crescimento vegetativo das mudas de eucalipto. Estes resultados estão associados às maiores quantidades de nutrientes presentes nas maiores proporções de composto na composição dos substratos e foram similares aos de outros trabalhos com mudas de *Senna siamea* (Faustino et al., 2005), *Acacia* sp. (Cunha et al., 2006) e *Schinus terebinthifolius* (Nóbrega et al., 2007). De acordo com os dados obtidos na literatura, a proporção de lodo de esgoto na composição dos substratos depende das espécies testadas e principalmente dos diferentes materiais estruturantes utilizados na mistura com o lodo.

Scheer et al. (2010) verificaram que os compostos à base de lodo de esgoto são suficientes para produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* com qualidade, sem necessidade de usar fertilização mineral, apresentando vantagens em relação ao substrato comercial.

Segundo Xavier et al. (2009), na expedição para o campo as mudas de *Eucalyptus* spp. devem ter de 15 a 40 cm de altura e diâmetro do coleto maior que 2,0 mm. Essas médias foram atingidas mesmo sem adubação pelos tratamentos cujos substratos continham de 40 a 100% CLE. Os tratamentos 100% SC e 20% CLE + 80% CAC não alcançaram as dimensões recomendadas.

A relação altura/diâmetro do colo (H/D) constitui um dos parâmetros usados para avaliar a qualidade de mudas florestais, pois, além de refletir o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo (Sturion & Antunes, 2000). Segundo Carneiro (1995), esta relação deve estar entre os limites de 5,4 a 8,1. Os tratamentos que não atingiram essa faixa foram os que proporcionaram o menor crescimento das plantas tanto em altura como em diâmetro do colo.

As mudas dos tratamentos com 100% SC e 20% CLE + 80% CAC apresentaram menor área foliar em relação aos demais tratamentos, refletindo a menor concentração de nutrientes, ou a menor capacidade de retenção de água destes substratos, entre outros fatores. A dose estimada de composto de lodo de esgoto que resultaria em uma maior área foliar seria a de 86% (Tabela 3). Trigueiro & Guerrini (2003) verificaram redução de área foliar de mudas de eucalipto quando utilizaram proporções acima de 60% de casca de arroz carbonizada misturada ao lodo.

As mudas produzidas no tratamento SC apresentaram os menores percentuais de sobrevivência no viveiro, com apenas 30% de aproveitamento. Este tratamento foi, também, o que conferiu às mudas os mais baixos valores das características morfológicas, avaliadas no viveiro. A adição do composto de lodo na composição dos substratos proporcionou percentual de aproveitamento das mudas acima de 65% (Tabela 3).

Tabela 3. Área foliar média por muda e percentual de aproveitamento das mudas de eucalipto, n = 4.

Tratamentos ¹	Área foliar por muda	Aproveitamento
	-----cm ² -----	-----%-----
100% CLE	127,6 (12,5) ² ab ³	83,4 (3,0) a
80% CLE + 20% CAC	84,8 (6,6) bc	75,0 (4,2) a
60% CLE + 40% CAC	144,0 (23,5) a	83,4 (4,5) a
50% CLE + 50% CAC	84,3 (6,6) bc	65,0 (11,4) a
40% CLE + 60% CAC	90,7 (5,4) bc	84,2 (3,1) a
20% CLE + 80% CAC	47,6 (3,8) cd	75,9 (3,4) a
100% SC	7,4 (0,8) d	30,0 (4,9) b
Análise de regressão ⁴	L**Q**	ns

¹ CLE = composto de lodo de esgoto; CAC = casca de arroz carbonizada; SC = substrato comercial; ² Números entre parênteses: \pm erro padrão da média;

³ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁴ A análise de regressão linear (L) e quadrática (Q) foi feita utilizando como variável independente o percentual de CLE no substrato, e excluiu-se o tratamento 100% SC, avaliando a significância a nível de 5% (*), 1% (**) de probabilidade e a não significância dos modelos (ns).

O fato do tratamento com 100% SC não apresentar bom percentual de enraizamento se deve, provavelmente, aos baixos teores de nutrientes, principalmente o P (2,6 g kg⁻¹ P₂O₅), o que pode ter dificultado o enraizamento das mudas e a sobrevivência das mesmas quando expostas a pleno sol, considerando a lâmina de água aplicada. A importância do P no enraizamento citada por Schawambach et al. (2005), foi evidenciada neste estudo, pois o coeficiente de correlação de Pearson entre a concentração de P no substrato e o percentual de aproveitamento das mudas foi de 0,81 (p<0,05), indicando uma possível relação.

O menor acúmulo de matéria seca na parte aérea e no sistema radicular das mudas de eucalipto foi proporcionado pelo tratamento com SC. Nos tratamentos que receberam CLE em sua composição, mesmo com comportamento quadrático, a proporção estimada de CLE que resultaria no maior acúmulo de matéria seca seria a de 100% (Tabela 4). Trigueiro & Guerrini (2003), trabalhando com lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada como substrato na produção de mudas de eucalipto, obtiveram melhores resultados com os tratamentos 50/50 - lodo e casca de arroz e 40/60 - lodo e casca de arroz, respectivamente, não atingindo bons resultados com altos teores de lodo no substrato. Essa diferença se deve ao fato de que o lodo de esgoto utilizado pelos autores não ter sido submetido ao processo de compostagem, o que muda principalmente as características físicas do material. Bazzo (2009),

ao realizar a caracterização de substratos contendo os mesmos materiais e proporções dos utilizados neste experimento obteve valor de densidade de 0,25 g cm⁻³ no substrato constituído por 80% de composto de lodo + 20% de casca de arroz carbonizada. Este valor é relativamente baixo quando comparado com os obtidos por Trigueiro & Guerrini (2003), que foi de 0,53 g cm⁻³ na mesma proporção dos materiais. Devido ao tamanho reduzido dos recipientes utilizados, a alta densidade dos substratos pode prejudicar o desenvolvimento radicular das mudas.

O processo da compostagem pode melhorar as características do lodo, promovendo adequado desenvolvimento das mudas com proporções maiores ou até mesmo com seu uso sem material estruturante, o que foi observado neste experimento. Scheer et al. (2010), também utilizando lodo de esgoto compostado com podas de árvores trituradas, verificaram maior crescimento em altura de mudas de *Parapiptadenia rigida* quando comparado aos tratamentos com substrato comercial à base de casca de *Pinus* compostada e vermiculita.

Além das características físicas dos substratos, as elevadas concentrações de P presentes no composto provavelmente estão associadas ao maior desenvolvimento do sistema radicular, visto que essas variáveis apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson de 0,96 (p<0,01). Segundo Schawambach et al. (2005), a deficiência de fósforo nas fases de indução e formação das raízes reduz significativamente seu comprimento.

Tabela 4. Matéria seca das mudas de eucalipto aos 100 dias em função dos tratamentos, n = 4.

Tratamentos ¹	Massa seca			Relação raiz/parte aérea
	Parte aérea	Raízes	Total	
	-----g planta ⁻¹ -----			
100% CLE	10,5 (0,8) ² a ³	8,4 (0,8) a	19,0 (1,3)a	0,8 (0,08) b
80% CLE + 20% CAC	7,6 (0,7) ab	6,5 (0,9) ab	14,1 (1,6) ab	0,9 (0,06) b
60% CLE + 40% CAC	8,2 (1,0) ab	6,2 (0,8) ab	14,4 (1,7) ab	0,8 (0,03)b
50% CLE + 50% CAC	6,3 (1,0) bc	5,3 (0,7) bc	11,6 (1,7) bc	0,8 (0,04) b
40% CLE + 60% CAC	8,2 (0,4) ab	5,9 (0,6) ab	14,1 (0,6) ab	0,7 (0,09) b
20% CLE + 80% CAC	4,1 (0,1) c	2,8 (0,3) cd	6,9 (0,3) cd	0,7 (0,07) b
100% SC	0,8 (0,1) d	1,0 (0,2) d	1,8 (0,2) d	1,2 (0,12)a
Análise de regressão ⁴	L**Q**	L**Q**	L**Q**	ns

¹ CLE = composto de lodo de esgoto; CAC = casca de arroz carbonizada; SC = substrato comercial; ² Números entre parênteses: \pm erro padrão da média;

³ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁴ A análise de regressão linear (L) e quadrática (Q) foi feita utilizando como variável independente o percentual de CLE no substrato, e excluiu-se o tratamento 100% SC, avaliando a significância a nível de 5% (*), 1% (**) de probabilidade e a não significância dos modelos (ns).

As mudas cultivadas em substrato contendo composto de lodo apresentaram menor relação massa seca radicular/massa seca aérea quando comparado ao substrato comercial. O valor médio obtido foi de 0,8 para estes tratamentos. Caldeira et al. (2000) observaram diminuição do valor desta razão para o *Eucalyptus saligna* a medida que aumentaram as doses de vermicomposto, atingindo valores de 0,6. Esta razão varia em função da espécie e das características químicas e físicas do substrato. A razão obtida quando utilizado o substrato comercial foi de 1,2, provavelmente devido às menores concentrações de nutrientes. Segundo Tedesco et al. (1999), a razão aumenta à medida que diminui o suprimento de nutrientes, pois a baixa disponibilidade de nutrientes faz com que a planta conduza a maior parte de seus fotoassimilados para a raiz, sendo esta uma estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes nesta condição.

As maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio na parte aérea das mudas foram obtidas no tratamento com 20% CLE + 80% CAC, apresentando um comportamento linear decrescente com a elevação da dose. Para magnésio não houve diferença significativa entre os tratamentos, e para enxofre houve um comportamento linear crescente, sendo o tratamento que apresentou maior concentração foi 100% CLE (Tabela 5). O tratamento que apresentou maior concentração de nutrientes foi um dos que proporcionou menor crescimento das mudas. Com o menor crescimento, houve efeito de concentração dos nutrientes em uma menor quantidade de massa seca acumulada.

A alteração na proporção da mistura CLE e CAC refletiu em aumento da concentração de K nos substratos quando aumentada a proporção de casca de arroz (Tabela 1). Este aumento pode estar associado à presença elevada de K na casca de arroz carbonizada, conforme verificado por Guerrini & Trigueiro (2004).

O tratamento que proporcionou um menor acúmulo de nutrientes na biomassa aérea foi o SC (Tabela 6), resultado de seu menor desenvolvimento (Tabela 4). Dos tratamentos que receberam o CLE em sua composição para N, Ca e S, ocorreu um comportamento linear crescente com os maiores acúmulos na proporção de 100% CLE. Já para P e K não foram observadas diferenças entre os tratamentos que receberam CLE (Tabela 6).

Os maiores conteúdos de nutrientes na parte aérea das plantas de eucalipto nos tratamentos contendo composto de lodo de esgoto refletiram as disponibilidades de nutrientes, conforme observado na caracterização química dos substratos (Tabela 1). O lodo de esgoto compostado da estação de tratamento de Jundiaí, SP, apresentou características agrônômicas essenciais para o cultivo de mudas, por promover um significativo incremento em altura, diâmetro do colo e biomassa seca. Embora Padovani (2006) mencione que o uso do composto orgânico de lodo de esgoto para produção de mudas é bastante promissor desde que ele seja utilizado em composição com outro material estruturante, neste experimento o composto puro também proporcionou bom desenvolvimento das mudas de eucalipto.

Tabela 5. Concentrações totais de macronutrientes na parte aérea das mudas de eucalipto em função dos tratamentos, n = 4.

Tratamentos ¹	Concentração de macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
100% CLE	11 (1,18) ² ab ³	1,6 (0,06) bc	3 (0,18) c	18 (0,59) ab	2,1 (0,09)	1,2 (0,02)a
80% CLE + 20% CAC	9 (0,19) bc	1,7 (0,13) bc	3 (0,08) c	17 (0,66) b	2,0 (0,07)	1,1 (0,02) ab
60% CLE + 40% CAC	8 (0,15) c	1,9 (0,09)b	4 (0,11)bc	18 (0,31) ab	1,9 (0,09)	0,9 (0,01) d
50% CLE + 50% CAC	9 (0,21) bc	1,8 (0,05) bc	4 (0,04) bc	18 (0,66) ab	2,2 (0,04)	1,0 (0,03) b
40% CLE + 60% CAC	8 (0,16) c	1,9 (0,09) b	4 (0,10) bc	17 (0,31) b	1,8 (0,08)	0,9 (0,01) d
20% CLE + 80% CAC	12 (0,69) a	3,0 (0,07) a	6 (0,15) a	20 (0,80) a	2,2 (0,06)	0,9 (0,01) d
100% SC	10 (0,37) abc	1,3 (0,20) c	5 (0,32) ab	18 (0,54) ab	2,2 (0,22)	0,9 (0,00) d
Análise de regressão ⁴	L*Q ^{ns}	L**Q ^{ns}	L**Q ^{ns}	L*Q ^{ns}	ns	L**Q ^{ns}

¹ CLE = composto de lodo de esgoto; CAC = casca de arroz carbonizada; SC = substrato comercial; ² Números entre parênteses: ± erro padrão da média;

³ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁴ A análise de regressão linear (L) e quadrática (Q) foi feita utilizando como variável independente o percentual de CLE no substrato, e excluiu-se o tratamento 100% SC, avaliando a significância a nível de 5% (*), 1% (**) de probabilidade e a não significância dos modelos (ns).

Tabela 6. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas de eucalipto em função dos tratamentos, n = 4.

Tratamentos ¹	Acúmulo de macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----mg planta ⁻¹ -----					
100% CLE	122,4 (21,6) ² a ³	16,5 (0,9) a	30,7 (2,2) a	185,8 (14,0) a	22,4 (1,8) a	12,2 (0,9) a
80% CLE + 20% CAC	72,8 (7,5) b	12,7 (1,4) a	25,8 (2,7) a	130,6 (12,6) abc	15,1 (1,4) bc	8,2 (0,7) b
60% CLE + 40% CAC	70,1 (8,7) b	15,3 (2,4) a	28,9 (3,7) a	149,6 (20,3) ab	15,5 (2,0) b	7,6 (0,9) b
50% CLE + 50% CAC	58,2 (10,0) b	11,4 (2,0) a	23,3 (4,0) a	112,2 (20,0) bc	13,7 (2,2) bc	6,3 (1,0) bc
40% CLE + 60% CAC	69,9 (3,8) b	16,0 (0,9) a	30,8 (1,9) a	139,4 (5,8) abc	14,8 (0,8) bc	7,8 (0,4) b
20% CLE + 80% CAC	49,4 (1,9) bc	12,4 (0,2) a	23,4 (0,4) a	83,3 (2,0)c	8,9 (0,3) c	3,7 (0,1) cd
100% SC	7,8 (0,9) c	0,98 (0,1) b	3,9 (0,5) b	14,0 (0,9) d	1,7 (0,2) d	0,7 (0,1) d
Análise de regressão ⁴	L**Q ^{ns}	ns	ns	L**Q ^{ns}	L**Q ^{ns}	L**Q ^{ns}

¹ CLE = composto de lodo de esgoto; CAC = casca de arroz carbonizada; SC = substrato comercial; ² Números entre parênteses: ± erro padrão da média;

³ Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁴ A análise de regressão linear (L) e quadrática (Q) foi feita utilizando como variável independente o percentual de CLE no substrato, e excluiu-se o tratamento 100% SC, avaliando a significância a nível de 5% (*), 1% (**) de probabilidade e a não significância dos modelos (ns).

Conclusões

A utilização do composto de lodo de esgoto sem ou com material estruturante, não ultrapassando um percentual de 60%, como substrato para produção de mudas clonais de *Eucalyptus* é promissor, pois estes resultam em um desenvolvimento adequado das mesmas, mesmo sem a aplicação de adubação suplementar no processo de produção. Portanto, a destinação do lodo de esgoto para esse fim é tecnicamente viável para produção de mudas.

Referências

- ANDRAUS, S.; MEDEIROS, M. L. B.; BORGES, J. C.; SILVA, S. M. C. P.; TOLEDO, E. B. S. Pesquisa de *Salmonella* spp. em amostras de lodo de esgoto e solo: isolamento e identificação. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B. R. P. (Coord.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: SANEPAR, 1998. p. 59-61.
- BACKES, C.; BULL, L. T.; GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P.; PIRES, E. C. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 39, n. 4, p. 1045-1050, 2009.

- BAZZO, J. F. **Utilização de composto orgânico de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de eucalipto**. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 685 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília, 1988. 110 p.
- 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. **Floresta**, Curitiba, v. 28, n. 1/2, p. 19-30, 2000.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CONAMA. **Resolução No 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília, DF, 2006. 41 p.
- CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; TECCHIO, M. A. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 9, p. 1209-1219, set. 2008.
- CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.
- FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, Suplemento, p.278-282, 2005.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar versão 4.2**. Lavras: DEX/Universidade Federal de Lavras, 2003.
- GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; LIMA, C. P. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “Pêra”, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 29, n. 3, p. 420-424, 2007.
- GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.
- HIGASKINO, C. E. K. Determinação de coliformes fecais em amostras de lodo de esgoto por fermentação em tubos múltiplos. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar, 1998. p. 27-35.
- HOODA, P. S.; ALLOWAY, B. J. The plant availability and DTPA extractability of trace metals in sludge-amended soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 149, p. 39-51, 1993.
- HUE, N. V. Sewage sludge In: RECHCIGL, J. E. (Ed.). Soil amendments and environmental quality. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p. 199-247
- LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Journal Soil Science Plant Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 16-25, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 315 p.
- MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; MARQUES, T. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 111-122, 2007.
- MULCHI, C. L.; ADAMU, C. A.; BELL, P. F.; CHANEY, R. L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain soils: I. Comparison of extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 22, p. 919-941, 1991.
- 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**, Campinas, v. 28, p. 385-392, 2004.
- NÓBREGA, R. S. A.; VILAS BOAS, R. C.; NÓBREGA, J. C. A.; PAULA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. Utilização de bio sólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* addi). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.
- PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- REVOREDO, M. D.; MELO, W. J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 679-685, 2006.
- SANTOS, C. B.; LONGHI, S. L.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F) D. DON. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.
- SCHAWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 25, p. 487-494, 2005.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.
- SOCCOL, V.T.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Coord.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. 2.ed. rev. e ampl. Curitiba: SANEPAR, 2000. p.27-41.
- SOCCOL, V. T.; CASTRO, E. A.; PAULINO, R. Título da parte. In: SANEPAR, **Manual de métodos para análises parasitológicas em reciclagem de lodo**. Curitiba, 2000. p. 27-41.
- SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. de; TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processo de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Sanare**, Curitiba, v. 8, n. 8, p. 24-32, 1997.

- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEIXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF v. 33, n. 1, p. 1-8, 1998.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o biofóssido produzido no distrito federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, p. 487-495, 2002.
- STURION, J. A.; ANTUNES, B. M. A. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins de produtivos e Ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 125-150.
- TEDESCO, N.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V. Influência do vermicomposto na produção de mudas de caroba (*Jacaranda micrantha* chamisso). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 1-8, 1999.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biofóssido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 150-162, 2003.
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 272 p.

