



Crescimento e nutrição de pau de balsa em solo enriquecido com lodo de esgoto

Cristiane Ramos VIEIRA^{1*}, Oscarlina Lúcia dos Santos WEBER²

¹Faculdade de Agronomia, Universidade de Cuiabá, Cuiabá, MT, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

*E-mail: ramosvieira009@yahoo.com.br

Recebido em julho/2017; Aceito em julho/2018.

RESUMO: A utilização de substratos orgânicos pode tornar a produção de mudas menos onerosa, no entanto, há que se estabelecer estudo para obter conhecimento sobre os tipos de substratos bem como suas proporções mais adequadas para cada espécie produzida. Diante disso, realizou-se experimento em casa de vegetação para verificar a influência do lodo de esgoto no desenvolvimento e na nutrição de mudas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urban. Foram cinco doses de lodo de esgoto, cada dose com cinco repetições, em delineamento inteiramente casualizado: T0 – sem lodo de esgoto; T1 – 1,5 L ha⁻¹; T2 – 2,7 L ha⁻¹; T3 – 3,3 L ha⁻¹ e; T4 – 5,0 L ha⁻¹. Para a análise do desenvolvimento das mudas, verificou-se altura e diâmetro, durante 90 dias. Após 90 dias, verificou-se a massa verde da parte aérea, a massa seca da parte aérea e as concentrações de nutrientes. A adição de lodo de esgoto influenciou positivamente no crescimento das mudas, observando-se os maiores valores em diâmetro, massa verde e seca nas mudas em 3,3 L ha⁻¹. As concentrações de N, Ca, Mg e de B nas folhas estiveram abaixo da recomendada e; de Fe e de Na acima; porém, sem limitação no crescimento das mudas.

Palavras-chave: *Ochroma pyramidale*, resíduo orgânico, produção de mudas.

Growth and nutrition of balsawood in soil enriched with sewage sludge

ABSTRACT: The use of organic substrates can make the production of seedlings less expensive; however, it is necessary to establish a study to obtain knowledge about the types of substrates as well as their proportions more suitable for each species produced. For this, an experiment was installed in nursery with the aimed to verify the influence of sewage sludge in the development and nutrition of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urban. Were evaluated five increasing doses of sewage sludge, each dose with five replications, in a completely randomized design: T0 – without sewage sludge; T1 – 1.5 L ha⁻¹; T2 – 2.7 L ha⁻¹; T3 – 3.3 L ha⁻¹ and; T4 – 5.0 L ha⁻¹. For the seedlings analysis of development were determined height and diameter, during 90 days. After 90 days, were verified, the wet mass of aerial part, dry mass of aerial part and concentrations of nutrients. The addition of sewage sludge influenced, positively, on the growth of seedlings, observing the highest values in diameter, green mass and dry mass in seedlings on 3.3 L ha⁻¹. The concentrations of N, Ca, Mg and B on leaf were below of the recommended; Fe and Na above; however, without limitation on the growth of seedlings.

Keywords: *Ochroma pyramidale*, organic residue, seedlings production.

1. INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo de composição variável, rico em matéria orgânica e nutrientes que, após o processo de estabilização, passa a ser denominado biossólido (GOMES et al., 2013). Como sua produção depende das atividades humanas, o volume de lodo de esgoto produzido e, por consequência, do biossólido, é cada vez maior. Gerando um passivo ambiental que cresce e se torna mais agravante a cada ano.

Por muitos anos, optou-se pelo seu acúmulo *in natura*, em áreas de aterros, perto de cursos d'água, ou, simplesmente deixá-lo depositado nos pátios das estações. Diante desse tipo de descarte, alguns estudos foram realizados nessas áreas, comprovando que o acúmulo desse resíduo pode comprometer a fertilidade do solo devido à carga de nutrientes contida no mesmo; bem como a qualidade da água, pois, pode atingir o lençol freático. Por isso, algumas pesquisas têm se dedicado a analisar as melhores destinações para esses tipos resíduos e, uma das mais testadas é na agricultura.

O lodo de esgoto pode melhorar as características físicas de agregação, porosidade, retenção (Delarmelina et al., 2013;

Gomes et al., 2013) e liberação de água no solo (DUARTE et al., 2011; CALDEIRA et al., 2012a). Isso dependerá do volume adicionado ao solo e das condições atuais do mesmo, além das características do próprio lodo. Portanto, faz-se necessário realizar estudos que permitam determinar as doses mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas nesse resíduo.

Diante disso, buscou-se realizar pesquisa utilizando a espécie florestal *Ochroma pyramidale* e o lodo de esgoto como fonte de nutriente e componente do substrato na produção de mudas. Essa espécie pertence à família Malvaceae e é conhecida como pau de balsa. Ela possui ampla variedade de fins comerciais como construção naval (nos casos de barcos e jangadas), aérea e civil (como isolantes térmicos e acústicos) (MIDGLEY, 2010).

Alguns estudos em que se utilizam o lodo de esgoto têm sido conduzidos com o objetivo de analisar a influência do lodo de esgoto na produção de mudas de espécies florestais. Caldeira et al. (2012a) e Gomes et al. (2013) recomendaram o uso de 60 % de lodo de esgoto nos substratos para a produção de mudas de *Tectona grandis*. Para o crescimento de *Sesbania virgata*, Delarmelina et al. (2013) recomendaram 40 % de lodo

de esgoto + 60 % de composto orgânico. Enquanto que, Caldeira et al. (2013) recomendaram 20 % de lodo de esgoto + 80 % de vermiculita para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis*.

Por isso, conduziu-se experimento com o objetivo de avaliar o desenvolvimento e a nutrição de mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto, em condições de viveiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, em Cuiabá, construída de material telado tipo sombrite branco e coberta com telha de amianto, sem controle de temperatura.

O solo utilizado foi coletado da camada de 0 a 20 cm após a abertura de trincheiras, em área de vegetação sob Cerrado, localizada no Instituto Federal de Mato Grosso, *campus* de São Vicente e classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). O solo foi seco ao ar livre, peneirado em malha de 2 mm e, uma amostra foi retirada para a determinação das características químicas (Tabela 1) conforme métodos da EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Características químicas do solo.

Table 1. Chemical characteristics of soil.

pH	H+Al	Ca+Mg	Al	K	P
CaCl ₂	cmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³		
4,50	2,30	2,60	1,92	2,41	0,30
SB	T	t	V	m	
cmolc dm ⁻³		%			
2,61	4,91	4,53	53	42	

pH em CaCl₂ – relação 1:2,5; H+Al – em acetato de cálcio; Al, Ca²⁺ e Mg²⁺ – em KCl 1N; P e K – em Mehlich; SB – soma de bases; T – capacidade de troca de cátions a pH 7,0; t – Capacidade efetiva de troca de cátions; V% – saturação por bases, em %; m% – saturação por Al, em %.

O lodo de esgoto foi produzido na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE – Núcleo Habitacional Sucuri do município de Cuiabá – MT e foi proveniente da digestão anaeróbica de fluxo ascendente dos resíduos de 245 casas. Após passar pelo processo de desidratação no leito de secagem, o lodo de esgoto foi coletado e levado para desidratação total sobre lona plástica por 30 dias. Uma amostra foi retirada para caracterização química conforme métodos descritos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1988), apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do lodo de esgoto.

Table 2. Sewage sludge chemical characteristics.

Densidade	pH	N total	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
g cm ⁻³	CaCl ₂	mg L ⁻¹			
0,9115	7,1	4108,90	527,45	753,71	36,40
Ca	S	Zn	Cu	Fe	Mn
mg L ⁻¹					
296,83	105,57	8,70	2,81	205,35	2,00
B	Ni	Pb	Cr	Cd	
mg L ⁻¹					
3,96	0,19	<0,04	<0,15	<0,004	

Os efeitos da adição de lodo de esgoto no crescimento das mudas de *Ochroma pyramidale* foram avaliados em cinco tratamentos, cada qual com cinco repetições, totalizando 25 parcelas, em delineamento inteiramente casualizado. As doses

(tratamentos) testadas foram: 0,0 (sem adição de lodo de esgoto); 1,5 L ha⁻¹; 2,7 L ha⁻¹; 3,3 L ha⁻¹ e 5,0 L ha⁻¹. Essas dosagens foram combinadas com o solo e deixadas em incubação por 15 dias, em tubo de polipropileno com ranhuras nas laterais, com 40 cm de comprimento e capacidade para cinco litros. Recebendo irrigação diária com água corrente.

Após incubação, as sementes de *Ochroma pyramidale* foram colocadas para germinar nos tubos preenchidos com solo e lodo de esgoto, sendo três sementes por tubo, após tratamento pré-germinativo com imersão em água por 20 minutos. As primeiras germinações ocorreram nove dias após a semeadura, de forma homogênea. Após sete dias, quando as plântulas atingiram seis centímetros de comprimento realizou-se o raleamento, deixando apenas uma plântula por tubo. Iniciando-se assim, o período de análise do crescimento.

As características morfológicas altura e diâmetro foram medidas a cada 30 dias, até o término do experimento, aos 90 dias. A altura da parte aérea, em cm, foi medida com régua graduada, a partir de cinco centímetros da superfície do solo até a gema apical. O diâmetro de colo, em mm, foi medido com paquímetro digital. Aos 90 dias, as mudas foram seccionadas e pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g para obtenção da massa verde da parte aérea. Esse material foi levado à estufa de circulação de ar a 65 °C até peso constante e, posteriormente, pesado para obtenção da massa seca da parte aérea. O material seco foi moído em moinho tipo Wiley para determinações das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn, Na e Zn, após as digestões sulfúrica e nitro-perclórica, seguindo métodos de MALAVOLTA et al. (1997).

Os dados foram interpretados por meio da análise de variância e a comparação de médias pelo método de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro e Teste de regressão, utilizando o programa estatístico Assistat 7.6 beta, da UFCG, após constatação da normalidade dos mesmos.

3. RESULTADOS

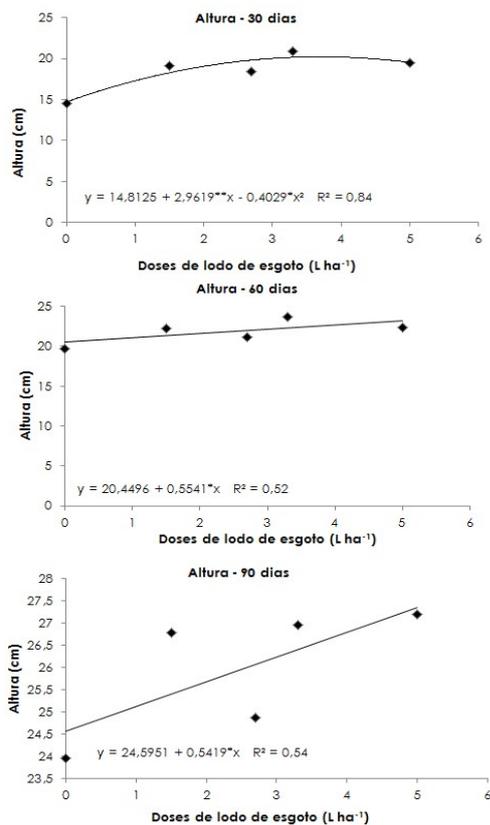
3.1. Características morfológicas

Nos primeiros 30 dias, o crescimento em altura (Figura 1) ocorreu de forma quadrática, com incremento crescente até a dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo de esgoto e redução nas mudas submetidas à dose de 5,0 L ha⁻¹. Apresentando médias de 14,8 cm no tratamento com 0,0 L ha⁻¹ de lodo de esgoto e, de 20,3 cm na dose de 3,30 L ha⁻¹. Nos meses posteriores, o incremento em altura se tornou linear, com aumento crescente até a maior dose. Apresentando aos 60 dias, médias de 20,4 cm na dose de 0,0 L ha⁻¹ e, de 23 cm na de 5,0 L ha⁻¹ de lodo de esgoto. Aos 90 dias, as médias foram de 24,6 cm na dose de 0,0 L ha⁻¹ e, de 27,3 na dose de 5,0 L ha⁻¹ de lodo de esgoto.

O crescimento em diâmetro (Figura 2) ocorreu de forma quadrática durante os 90 dias, com aumento até a dose de 3,3 L ha⁻¹ e, queda na dose de 5,0 L ha⁻¹ de lodo de esgoto. As médias observadas variaram de 4,75 mm na dose de 1,5 L ha⁻¹ de lodo de esgoto e 6,57 mm na dose de 3,3 L ha⁻¹ aos 30 dias; de 5,07 mm na dose de 1,5 L ha⁻¹ a 6,8 mm na dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo aos 60 dias e; de 7,22 mm nas doses de 0,0 e 1,5 L ha⁻¹ a 8,8 mm na dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo, aos 90 dias.

A produção de massa verde (Figura 3) e de massa seca (Figura 4) na parte aérea das mudas de *Ochroma pyramidale* decresceu na maior dose de lodo de esgoto (5,0 L ha⁻¹), ajustando-se modelo quadrático de regressão. As médias variaram de 14,22 g na dose de 0,0 L ha⁻¹ a 20,04 g na dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo para a massa verde e; de 4,71 g na dose de

0,0 L ha⁻¹ a 6,09 g na dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo para a massa seca.



* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 1. Altura aos 30, 60 e 90 dias em mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 1. Height at 30, 60 and 90 days in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.

3.2. Concentrações de macronutrientes

Em geral, as menores concentrações de N, P, K (Figura 4), Ca e S (Figura 5) foram verificadas nas mudas submetidas a 2,7 L ha⁻¹ de lodo de esgoto. Os valores para as concentrações de N e de P foram decrescentes, porém, com o ajuste de equação linear para N e cúbica para P. Observando nos tratamentos com 1,5 e 3,3 L ha⁻¹ as maiores médias para N e; nos tratamentos sem adição de lodo de esgoto e o com 3,3 L ha⁻¹ de lodo, as maiores para P. Para as concentrações de K, o ajuste foi de equação cúbica, com os maiores valores no tratamento com 5 L ha⁻¹. As concentrações de Ca, Mg e S em *Ochroma pyramidale* estão apresentadas na Figura 5.

3.3. Concentrações de micronutrientes

As concentrações de Fe e Mn em *Ochroma pyramidale* estão apresentadas na Figura 7. As concentrações de Na e B em *Ochroma pyramidale* estão apresentadas na Figura 8.

4. DISCUSSÃO

4.1. Características morfológicas

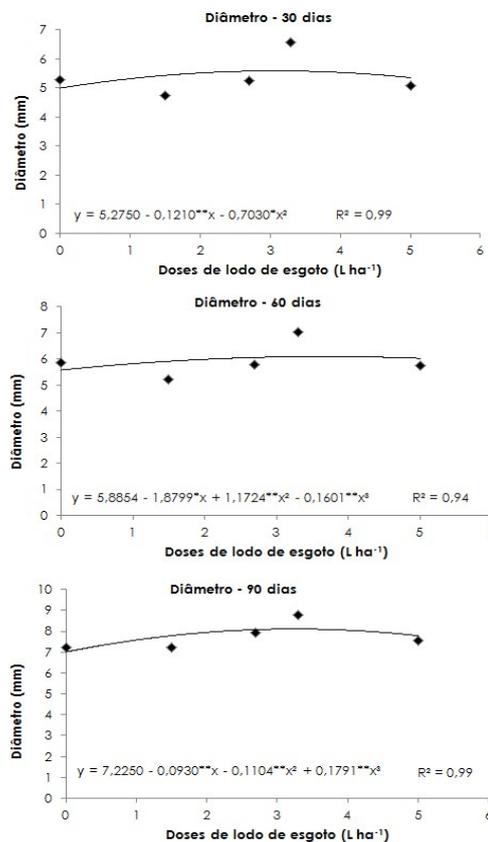
A adição de lodo de esgoto favoreceu o crescimento em altura (Figura 1) das mudas de *Ochroma pyramidale*, possivelmente devido à adição de nutrientes, principalmente, N e P (Faria et al., 2013a), de matéria orgânica (Caldeira et al., 2012b) e as condições adequadas de porosidade (Caldeira et al., 2014), complementando as características físicas e químicas do solo. Além de N e de P, segundo Gomes et al.

(2013), o lodo de esgoto pode disponibilizar Ca, Mg e K e pH em níveis adequados para o crescimento das plantas.

Resultados semelhantes foram observados por Delarmelina et al. (2013) e Gomes et al. (2013), que comprovaram a influência do lodo no crescimento em altura das mudas de *Sesbania virgata* e *Tectona grandis*, respectivamente, na proporção de 60% do substrato. Assim como no presente caso, esses autores atribuíram os resultados aos teores de nutrientes, além das características físicas favoráveis oferecidas pelo lodo de esgoto.

O lodo de esgoto influenciou também no crescimento em diâmetro (Figura 2). Portanto, o crescimento em altura foi condizente com o crescimento em diâmetro, demonstrando o adequado desenvolvimento inicial da espécie em substrato enriquecido com lodo de esgoto.

Corroborando a influência do lodo de esgoto no crescimento das plantas, Faria et al. (2013a) constataram que, o lodo de esgoto, na proporção de 80 %, mostrou-se excelente como combinação de substrato para o crescimento em altura e em diâmetro de mudas de *Senna alata*. O crescimento em diâmetro em *Mimosa setona* foi superior no substrato composto por 80 % lodo de esgoto + 10 % casca de arroz carbonizada + 10 % palha de café *in natura* e com 100 % lodo de esgoto (FARIA et al., 2013b). Segundo Trazzi et al. (2014) esse crescimento também se deve à maior capacidade de retenção de água devido a baixa microporosidade do substrato, melhorando a eficiência do fornecimento de água e de nutrientes, principalmente do K.

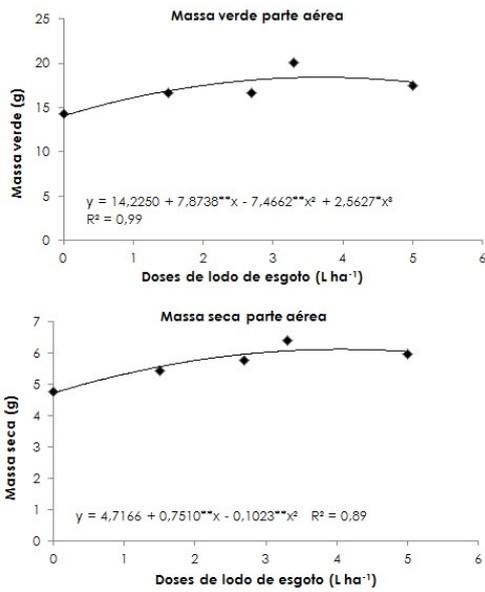


* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 2. Diâmetro aos 30, 60 e 90 dias em mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 2. Diameter at 30, 60 and 90 days in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.

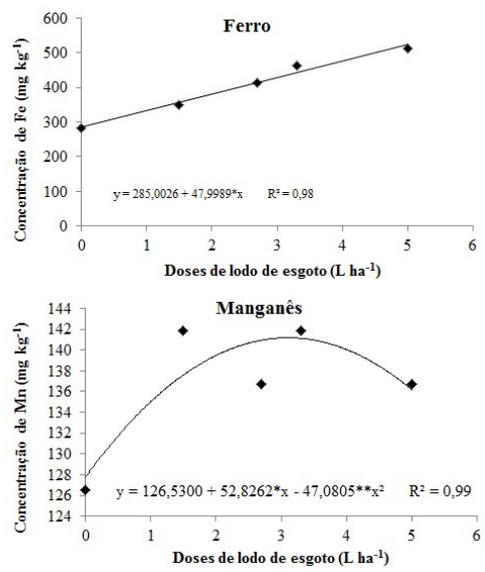
Crescimento e nutrição de pau de balsa em solo enriquecido com lodo de esgoto



* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 3. Massa verde e massa seca aos 90 dias em mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 3. Wet mass and dry mass at 90 days in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.

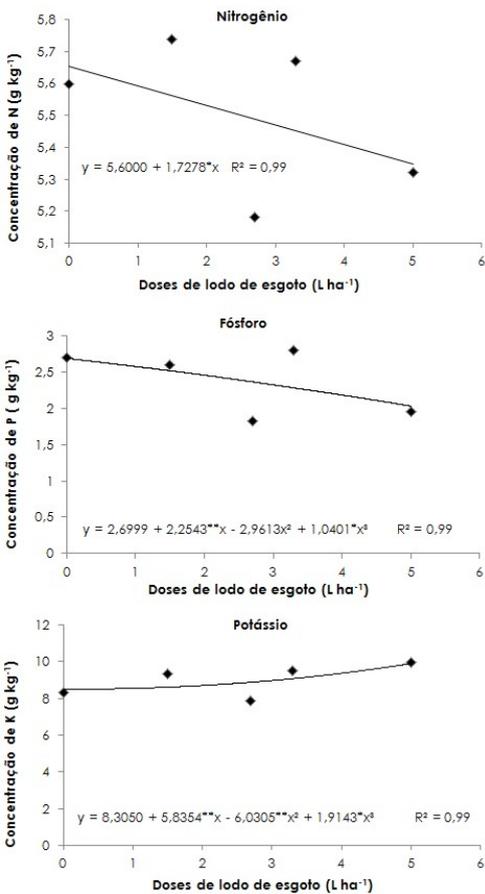


* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 6. Concentrações de Fe e Mn nas mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 6. Fe and Mn contents in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.

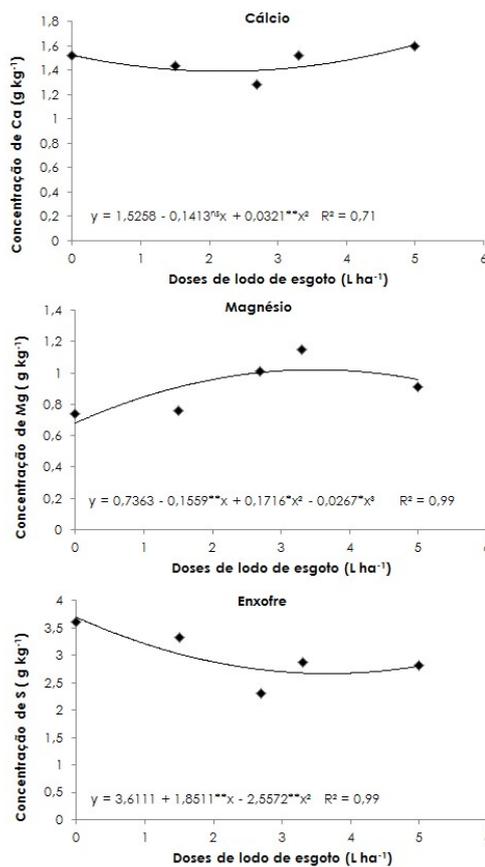
702



* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 4. Concentrações de N, P e K nas mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

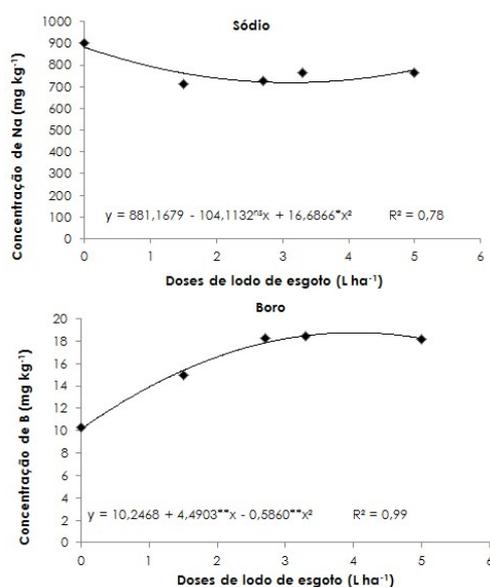
Figure 4. N, P and K contents in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.



* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 5. Concentrações de Ca, Mg e S nas mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 5. Ca, Mg and S contents in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.



* significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Figura 7. Concentrações de Na e B nas mudas de *Ochroma pyramidale* submetidas a doses crescentes de lodo de esgoto.

Figure 7. Na and B contents in *Ochroma pyramidale* seedlings submitted to increasing doses of sewage sludge.

Considerando que, Xavier et al. (2009) recomendaram 20 a 40 cm de altura e 2 mm de diâmetro para que as mudas estejam aptas ao plantio no campo, ressalta-se que, a adição de lodo de esgoto proporcionou essas condições desde os 30 dias. O que interessa para o viveirista, pois, poderá produzir maior quantidade de mudas de qualidade em menor tempo e, assim, obter lucro após um menor tempo de produção.

Portanto, a aplicação de lodo de esgoto influenciou positivamente no crescimento em altura e em diâmetro das mudas de *Ochroma pyramidale*, apresentando os maiores valores na dose de 3,3 L ha⁻¹. No entanto, como o lodo de esgoto deve ser utilizado em combinações com outro material para compor o substrato, deve-se também, atentar para as características dos materiais adicionados para que não ocorra incompatibilidade.

Além do crescimento em altura e em diâmetro, o lodo também influenciou, positivamente, na produção de massa verde e seca (Figura 3). Sendo assim, o crescimento das mudas ocorreu de forma adequada entre as características morfológicas estudadas.

Caldeira et al. (2014) constataram que a adição de 40 % de lodo de esgoto + 60 % de composto orgânico e de 20 % de lodo de esgoto + 80 % de lodo de esgoto propiciaram microporosidade e teores de água disponíveis mais adequados para o crescimento das mudas de *Acacia mangium*, possibilitando o incremento em massa.

A produção de biomassa foliar é uma das características a analisar para verificar a respeito da sobrevivência da espécie no campo. Nesse caso, as mudas do tratamento 3,3 L ha⁻¹ de lodo seriam as mais aptas ao plantio, reforçando os resultados anteriores. Sendo assim, as plantas que mais cresceram em altura e em diâmetro apresentaram maior produção de massa seca e, portanto, seriam as mais aptas ao transplante. Esses resultados, segundo Trazzi et al. (2014) podem ser atribuídos às propriedades físicas e químicas proporcionadas pelo biossólido.

Portanto, a utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de *Ochroma pyramidale* é uma alternativa viável, pois, contribuiu para o crescimento mais rápido e em menor tempo, recomendando-se a dose 3,3 L ha⁻¹.

3.2. Concentrações de macronutrientes

As concentrações de N apresentaram tendência decrescente em relação às doses de lodo de esgoto, em equação linear, com valores abaixo dos recomendados por Malavolta et al. (1997) que são de 12 a 35 g kg⁻¹, para espécies florestais. Esses dados podem indicar menor requerimento da planta em N na fase inicial de crescimento, ou, maior eficiência na utilização do elemento em condições de baixa disponibilidade, porque as mudas não apresentaram redução no crescimento e/ou outro sintoma de deficiência. Já que, N é um dos elementos minerais mais requeridos (Gonçalves et al. 2012), é constituinte de proteínas e ácidos nucleicos, faz parte da fotossíntese, da absorção iônica, da respiração, etc (MALAVOLTA et al., 1997). Portanto, os teores de N presentes no solo foram considerados suficientes para o crescimento de *Ochroma pyramidale* até os 90 dias. Isso pode estar relacionado com os teores iniciais do lodo de esgoto e com o processo pelo qual o material passou até sua utilização como substrato.

Contrariamente aos resultados observados para N, os valores para as concentrações de P nos tratamentos 0,0 L ha⁻¹ e 1,5 L ha⁻¹ foram superiores aos recomendados por Malavolta et al. (1997), entre 1,0 e 2,3 g kg⁻¹. Nos demais tratamentos, estiveram na faixa considerada adequada. O que pode ter influenciado no crescimento e desenvolvimento das mudas, pois as submetidas à dose 3,3 L ha⁻¹ apresentaram os maiores valores para as características morfológicas estudadas.

Santos et al. (2008) verificaram que, ao elevar o fornecimento de P, ocorreram aumentos na produção de massa seca para as espécies estudadas, comprovando que o biossólido influenciou na produção de massa, já que possui maior quantidade de P em sua constituição. Isso porque, além das características físicas dos substratos, as concentrações de P presentes no composto provavelmente estão associadas ao maior desenvolvimento do sistema radicular (ROCHA et al., 2013). Um sistema radicular bem desenvolvido facilita a absorção de P, que se faz por difusão, auxiliando no crescimento da planta.

Com relação ao K, o modelo de regressão ajustado foi o quadrático, com aumento até a dose de 5,0 L ha⁻¹, que foi o único tratamento a proporcionar concentrações adequadas para as mudas, considerando recomendação de Malavolta et al. (1997) de 10 a 15 g kg⁻¹. O que pode ter contribuído para o crescimento em altura das mudas nesse tratamento aos 60 e 90 dias. Além do crescimento em altura, as concentrações de K podem ter contribuído para o crescimento do diâmetro, já que esse macronutriente regula a abertura estomática e promove o engrossamento do caule das mudas na fase de produção (VALERI; CORRADINI, 2005). No entanto, Scheer et al. (2012) constataram que, as plantas de *Lafoesia pacari* com os maiores resultados de crescimento não foram aquelas com maiores teores de N e K nas folhas, mas aquelas que apresentaram maiores quantidades desses nutrientes em sua biomassa. Dessa forma, as mudas apresentaram mais eficiência no uso desses nutrientes, pois produziram significativa biomassa com uso relativamente menor de nutrientes. Como observado para as mudas de *Ochroma*

pyramidale, para a qual a dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo de esgoto foi a que promoveu o maior crescimento.

As maiores concentrações de Ca também foram observadas nas mudas do tratamento com 5,0 L ha⁻¹ de lodo, ajustando-se modelo quadrático de regressão. Porém, permaneceram abaixo do recomendado em Malavolta et al. (1997), pois não atingiram a faixa de 3,0 a 12 g kg⁻¹. Essa aparente deficiência não resultou em limitações no crescimento da espécie, o que pode indicar menor demanda nutricional em Ca pelo *Ochroma pyramidale*. Ou, ao fato do lodo de esgoto conter nutrientes na forma orgânica.

Para as concentrações de Mg (Figura 5) o modelo de regressão ajustado foi o quadrático, com aumento até a dose 3,3 L ha⁻¹. Não se observando concentrações adequadas, pois, Malavolta et al. (1997) recomendaram entre 1,5 e 5,0 g kg⁻¹ de Mg, indicando menor demanda pelo nutriente, pois uma deficiência em Mg poderia prejudicar o crescimento das mudas, já que o elemento participa da clorofila e é ativador de enzimas (GONÇALVES et al, 2012).

As maiores concentrações de S foram observadas no tratamento sem adição de lodo de esgoto e se enquadraram no modelo quadrático de regressão, com redução da dose 0,0 L ha⁻¹ até a dose de 5,0 L ha⁻¹. Porém todos os tratamentos proporcionaram concentrações de S acima das recomendadas por Malavolta et al. (1997), que é de 1,4 a 2,0 g kg⁻¹.

Portanto, as concentrações de macronutrientes no lodo de esgoto irão depender da composição do material, da sua origem e do processo pelo qual o mesmo passou até se tornar o material que pode ser utilizado como substrato na produção de mudas. Além disso, os resultados obtidos também dependerão das exigências nutricionais da espécie. O que pode explicar as baixas concentrações de N, Ca e de Mg na parte aérea das mudas de *Ochroma pyramidale*, sem implicações no crescimento das mesmas.

3.3. Concentrações de micronutrientes

As concentrações de Fe (Figura 6) aumentaram com a elevação da dose de lodo de esgoto, ajustando-se, uma equação linear crescente. Essas concentrações estiveram acima do recomendado, pois deveriam se apresentar entre 25 e 200 mg kg⁻¹ de Fe (MALAVOLTA et al., 1997). As altas concentrações de Fe no tratamento sem adição de lodo de esgoto podem estar relacionadas aos teores existentes no solo, característico de Cerrado. No entanto, essas se elevaram conforme a dose de lodo, o que pode indicar que ele também é rico em Fe e, somado aos teores do solo, aumentou consideravelmente as concentrações do micronutriente na parte aérea das mudas.

As concentrações de Mn (Figura 6) apresentaram aumento quadrático, com os menores valores na dose 0,0 L ha⁻¹ e, os maiores na dose 5,0 L ha⁻¹. Considerando as recomendações de Malavolta et al. (1997), de 40 e 80 mg kg⁻¹ de Mn, observou-se que, todos os tratamentos atingiram valores acima da faixa ideal. Não limitando o crescimento das mudas de *Ochroma pyramidale* em lodo de esgoto, já que, Mn deve estar relacionado com o teor de clorofila nas plantas.

Quanto às concentrações de B (Figura 7), o lodo de esgoto foi eficiente na sua disponibilização até a dose de 3,3 L ha⁻¹, com queda na dose de 5,0 L ha⁻¹, ajustando-se modelo quadrático e contribuindo para o maior crescimento das mudas nesse tratamento. Portanto, o substrato orgânico complementou os baixos teores do elemento no solo. No entanto, nenhum tratamento proporcionou concentrações

adequadas, segundo recomendação de Malavolta et al. (1997), porque não atingiram 20 mg kg⁻¹.

Outra característica da aplicação do lodo de esgoto foi a redução da salinidade do substrato, pois, quanto maior a dose de lodo menores foram as concentrações de Na (Figura 7) na parte aérea das mudas. Havendo, portanto, redução em relação ao tratamento sem lodo. Indícios de que a planta pode ter um mecanismo de retenção de Na, podendo ser utilizada em projetos de fitorremediação. Nesse caso, ajustou-se equação quadrática, com os maiores valores para as mudas no tratamento 0,0 L ha⁻¹ e, estabilização a partir da dose de 5,0 L ha⁻¹. No entanto, as concentrações desse micronutriente podem limitar as concentrações de macronutrientes. De acordo com Trazzi et al. (2013) quanto mais alta a porcentagem de Na entre os cátions trocáveis, menor será a saturação dos sítios de troca do solo ocupados pelo Ca, Mg e K. O que pode ter reduzido os teores de K, Ca e de Mg na parte aérea das mudas, dependendo da dose de lodo de esgoto testada.

5. CONCLUSÕES

As doses crescentes de lodo de esgoto influenciaram no crescimento e na nutrição de mudas de *Ochroma pyramidale*.

A dose de 3,3 L ha⁻¹ de lodo de esgoto permitiu o maior crescimento em diâmetro, produção de massa verde e de massa seca.

As mudas de *Ochroma pyramidale* em substrato com lodo de esgoto não apresentaram concentrações adequadas de N, Ca, Mg, B, Fe e Na. Porém, não se observou sintomas de deficiência ou de toxidez e, tampouco a redução de crescimento.

6. REFERÊNCIAS

- CALDEIRA, M. V. W., DELARMELINA, W. M., LÜBE, S. G., GOMES, D. R., GONÇALVES, E. O., ALVES, A. F. Biossólido para composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p. 77-84, jan./mar., 2012a. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v42i1.26302>.
- CALDEIRA, M. V. W., GOMES, D. R., GONÇALVES, E. O., DELARMELINA, W. M., SPERANDIO, H. V., TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, nov./dez., 2012b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000600002>.
- CALDEIRA, M. V., 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, abr./jun., 2013.
- CALDEIRA, M. V. W., FAVALESSA, M., GONÇALVES, E. O., DELARMELINA, W. M., SANTOS, F. E. V., VIERA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 34-43, jan./mar., 2014.
- DELARMELINA, W. M., CALDEIRA, M. V. W., FARIA, J. C. T., GONÇALVES, E. O. 2013. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, mai./ago., 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i2.888>.
- DUARTE, R. F., SAMPAIO, R. A., BRANDÃO JUNIOR, D. S., SILVA, H. P., PARREIRAS, N.S., NEVES, J. M. G.

- Crescimento inicial de mudas de *Acacia mangium* cultivadas em mantas de fibra de coco contendo substrato de lodo de esgoto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 69-76, jan./fev., 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100008>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.
- FARIA, J. C. T., CALDEIRA, M. V. W., DELARMELINA, W. M., LACERDA, L. C., GONÇALVES, E. O. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 4, n. 4, p. 342-351, out./dez., 2013a.
- FARIA, J. C. T., CALDEIRA, M. V. W., DELARMELINA, W. M., GONÇALVES, E. O. Uso de resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Mimosa setosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 409-418, out./dez., 2013b.
- GOMES, D. R., CALDEIRA, M. V. W., DELARMELINA, W. M., GONÇALVES, E. O., TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, jan./mar., 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000100015>.
- GONÇALVES, E. O., PAIVA, H. N., NEVES, J. C. L., GOMES, J. M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 219-228, mar./abr., 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000200003>
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MIDGLEY, S.; BLYTH, M.; HOWCROFT, N.; MIDGLEY, D.; BROWN, A. **Balsa: biology, production and economics in Papua New Guinea**. Camberra: ACIAR, 2010. 98p. (Technical Reports, n.73).
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil) - MAPA. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília: Lanarv, 1988. 104p.
- ROCHA, J. H. T., BACKES, C., DIOGO, F. A., PASCOTTO, C. B., BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto com substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36, jan./mar., 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.331>.
- SANTOS, J. Z. L., RESENDE, A. V., FURTINI NETO, A. E., CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 799-807, set./out., 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500003>.
- SCHEER, M. B., CARNEIRO, C., BRESSAM, O. A., SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 55-65, jan./mar., 2012. DOI: 10.4322/loram.2012.007.
- TRAZZI, P. A., CALDEIRA, M. V. W., PASSOS, R. R., GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Curitiba, v. 23, n. 3, p. 401-409, jul./set., 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509810551>.
- TRAZZI, P. A., CALDEIRA, M. V. W., REIS, E. F., SILVA, A. G. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, abr./jun., 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021134>.
- VALERI, S. V., CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p.167-190.
- XAVIER, A., WENDLING, I., SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: UFV, 2009. 272p.