



Organic substrates and formononetin for *Leucaena leucocephala* saplings

Substratos orgânicos e formononetina em mudas de Leucaena leucocephala

Djalma Silva Pereira¹, Gilca dos Santos Veloso², Rafaela Simão Abrahão Nóbrega^{3*},
Altemar dos Santos Dias², Audrey Ferreira Barbosa², Júlio César Azevedo Nóbrega³

Abstract: To obtain quality saplings it is necessary to consider the requirements the plants have for a balanced nutrient intake. These can be made available from organic waste which, in many cases, is simple to acquire and can be recycled easily. Consequently, the current study evaluated the potential of organic substrates and formononetin for the production of *Leucaena leucocephala* seedlings. Experiments were carried out in a greenhouse, using a fully randomized experimental design, in a factorial arrangement (5 x 2), with five soil proportions: organic compound (100: 0, 80:20, 60:40, 40:60, 20 : 80) and two doses (0 and 1.0 mg per seed) of the isoflavonoid formononetine (7-hydroxy-4'-methoxy-isoflavone, Myconate®). After 60 days of sowing, shoot height, stem diameter, shoot height ratio, shoot diameter, number of nodules, aerial dry mass (ADM), root dry mass (RDM), total dry matter and Dickson Quality Index (DQI) of the *Leucaena leucocephala* seedlings were evaluated. Formononetin positively influenced dry root and total dry mass production, and the Dickson Quality Index of *Leucaena leucocephala* seedlings. A substrate with 46% soil and 54% organic compound gave the highest seedling DQI, this therefore being the recommended proportions for this species during the initial growth phase.

Key words: Urban waste compost. Isoflavonoid. *Agave sisalana* waste.

Resumo: Para a obtenção de mudas de qualidade deve-se considerar a necessidade das plantas em adquirir uma quantidade balanceada de nutrientes, os quais podem ser disponibilizados por resíduos orgânicos, em muitos casos, de fácil aquisição e que podem ser reaproveitados. Assim, propõe-se com este trabalho avaliar o potencial de substratos orgânicos e de formononetina na produção de mudas de *Leucaena leucocephala*. O experimento foi instalado em casa de vegetação, em delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (5 x 2), sendo cinco proporções de solo: composto orgânico (100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80) e duas doses (0 e 1,0 mg por semente) de isoflavonóide formononetina (7-hydroxy-4'-methoxy-isoflavone, Myconate®). Após 60 dias da semeadura, realizou-se a avaliação de altura da parte aérea, diâmetro do caule, relação entre altura da parte aérea e diâmetro do caule, número de nódulos, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas *Leucaena leucocephala*. A formononetina influenciou positivamente tanto na produção de massa seca da raiz e massa seca total quanto no índice de qualidade de Dickson das mudas de *Leucaena leucocephala*. O substrato com 46% de solo e 54% de composto orgânico proporcionou o maior IQD nas mudas de *Leucaena leucocephala*, sendo a proporção recomendada para esta cultura em fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: Composto de lixo urbano. Isoflavonóide. Resíduos de *Agave sisalana*.

*Corresponding author

Submitted for publication on 02/01/2019 and approved 06/03/2019

¹Doctoral candidate in Soils and Plant Nutrition, Soil Department, Universidade Federal de Viçosa; 35670-900, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário - Viçosa - MG - Brasil; e-mail: djalma.pereira7@gmail.com

²Graduates in Agroecology, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; gilcaveloso21@gmail.com, altemar.s.dias@gmail.com, audreybarbosa@hotmail.com

³Faculty, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; rafaela.nobrega@ufrb.edu.br, jcanobrega@ufrb.edu.br

INTRODUCTION

Leucaena leucocephala (Lam.) De Wit, popularly known as leucena, is a leguminous tree native to Central America. It is now widely spread due to its multiple uses, principally as a source of fodder, wood, charcoal and green manure (FORMENTINI, 2008). The species has a strong capacity to develop vegetation cover, even in the driest periods of the year. This can be used to increase protection against soil erosion by wind and water (AMARAL *et al.*, 2016). Tolerant to drought, it both grows quickly and has high regrowth capacity (MENDES *et al.*, 2013). Thus, its cultivation can bring environmental benefits, especially for agro-ecosystems in semi-arid regions.

In the field individual survivorship of this species depends, most notably, on the quality of the seedlings, which is greatest when initial growth occurs on substrates favorable to plant early development (AMARAL *et al.*, 2016). Consequently, to obtain quality seedlings, it is necessary to consider the nutritional balance required by the growing plants. This can be derived from a variety of easily acquired organic wastes.

In recent years methods of producing tree seedlings has undergone great technological advances, resulting in improvements that include, among others, changes in nursery management, and the use of alternative substrates (RIBEIRO *et al.*, 2018). The use of organic waste as an environmental management practice is included in the Brazilian National Solid Waste Policy (PNRS), Law No. 12,305/2010, although regulations mostly cover mitigation of negative impacts generated by its inadequate disposal (BRASIL, 2012).

Organic waste from agricultural and urban activities, including waste from the processing of sisal (*Agave sisalana*), as well as urban waste compost, can bring added value to agricultural activities in regions where family agriculture is practiced, where they can function as conditioning factors or fertilizers for the substrates used to grow *L. leucocephala*. The use of organic waste helps reduce production costs, especially in regions where access to commercial substrates and mineral fertilizers is difficult (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Urban waste compost has great potential for use as an alternative substrate for seedling production of forest species, since its application to a substrate improves seedling development performance (Silva *et al.*, 2014). Therefore, research is required to analyse the best ways to use this compost in *L. leucocephala* cultivation, including the mixes and proportions that promote best development.

INTRODUÇÃO

A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, conhecida popularmente como leucena, é uma leguminosa arbórea originária da América Central, atualmente difundida em diversos países. Ela apresenta múltiplos usos, sendo utilizada, principalmente, como fonte de forragem, madeira, carvão vegetal e adubo verde (FORMENTINI, 2008). Esta espécie possui boa habilidade para desenvolver cobertura vegetal, mesmo nos períodos mais secos do ano, o que contribui para o aumento da proteção do solo contra a erosão pelo vento e pela água (AMARAL *et al.*, 2016). Tolerante à seca, possui crescimento rápido e alta capacidade de rebrota (MENDES *et al.*, 2013). Assim, seu cultivo pode trazer benefícios ambientais, principalmente, em agroecossistemas de regiões semiáridas.

O potencial de sobrevivência desta espécie no campo depende, especialmente, da qualidade das mudas, que é maior quando são formadas em substratos favoráveis para o desenvolvimento inicial das plantas (AMARAL *et al.*, 2016). Neste contexto, para a obtenção de mudas de qualidade deve-se considerar a necessidade das plantas de adquirir uma quantidade balanceada de nutrientes, que podem ser disponibilizados por diversos resíduos orgânicos, em muitos casos, de fácil aquisição.

Nos últimos anos a produção de mudas florestais tem passado por grandes avanços tecnológicos, resultando em melhorias que incluem, entre outros fatores, mudanças no manejo dos viveiros e uso de substratos alternativos (RIBEIRO *et al.*, 2018). O aproveitamento de resíduos é uma prática de gestão ambiental prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, principalmente por mitigar impactos negativos gerados pela sua disposição inadequada (BRASIL, 2012).

Resíduos orgânicos oriundos das atividades agrícolas e urbanas, como resíduos de sisal (*Agave sisalana*) e composto de lixo urbano, podem contribuir para agregar valor às atividades agrícolas em regiões de agricultura familiar e, ainda, determinar o seu próprio potencial como condicionantes ou adubos de substratos de cultivo para *L. leucocephala*. O uso de resíduos orgânicos possibilita a redução dos custos de produção, principalmente em regiões de difícil acesso à substratos comerciais e fertilizantes minerais (ARAÚJO *et al.*, 2016).

O composto de lixo urbano possui grande potencialidade de uso como substratos alternativos na produção de mudas de espécies florestais, uma vez que sua aplicação ao substrato melhora o desempenho no desenvolvimento de mudas (SILVA *et al.*, 2014). Desta forma, é necessária a realização de pesquisas visando determinar a viabilidade do uso de composto de lixo urbano no cultivo de *L. leucocephala*, a fim de encontrar proporções adequadas que não prejudiquem o desenvolvimento desta espécie.

Sisal is a plant of socioeconomic importance for semi-arid regions, but processing the plant for its fibers generates vegetal waste, which is often simply discarded by farmers (SOUSA *et al.*, 2016). However, the use of sisal residue as a seedling growth substrate is a viable way to reuse this product.

In addition to providing a substrate with a composition suitable for quality seedling production, plant species that benefit from the symbiosis with mycorrhizal fungi may also show greater increases in root and shoot dry mass if such associations are facilitated by the substrate (SILVA *et al.*, 2017). In the seedling phase this can be of key importance in decreasing the time spent developing the nursery. Consequently, the use of stimulants to establish the of mycorrhizal fungi colonization of root systems has great potential in agriculture (ANDRADE *et al.*, 2018). The use of formononetine, has been shown to stimulate mycorrhization of native species roots, facilitating colonization by mycorrhizal fungi.

The objective of the current study was to evaluate the potential of substrates composed of soil samples and organic residues (urban waste and sisal residue), and the use of formononetin in the production of *Leucaena leucocephala* seedlings.

MATERIAL AND METHODS

Experiments were conducted from September to November 2015, in a nursery at the Recôncavo da Bahia Federal University (UFRB), at the Center for Agricultural, Environmental and Biological Sciences (CCAAB), in Cruz das Almas, Bahia (latitude 12°40'19" S, longitude 39°06'23" W). Regional climate is classified by Köppen (1948) as type Af, i.e. warm and humid type climate; average annual rainfall is 1,200 mm, average annual temperature is 24.2°C and relative air humidity approximately 82%, with the rainiest quarter being May-June-July.

Treatments were arranged in a completely randomized experimental design, with a 5 x 2 factorial arrangement, with five combinations of soil: organic compound ratios (100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80), and two doses of isoflavonoid formononetine (0 and 1.0 mg per seed), with seven replicates, a total of 70 experimental units. Each unit consisted of a perforated black polyethylene bag (volume 1 dm³), each of which contained a single plant.

O sisal é uma planta de destaque socioeconômico para a região semiárida, gerando resíduo oriundo do processo de extração das fibras das plantas que, muitas vezes, é descartado de forma inadequada pelos agricultores (SOUSA *et al.*, 2016). O uso do resíduo de sisal para compor o substrato de mudas é uma alternativa viável para o reaproveitamento deste produto.

Além da adequada composição do substrato para a produção de mudas de qualidade, as plantas que se beneficiam da simbiose com fungos micorrízicos podem, também, apresentar maiores incrementos na massa seca de raízes e parte aérea (SILVA *et al.*, 2017), o que pode ser fundamental em fase de muda para diminuir o tempo de permanência no viveiro. O uso de estimulantes para estabelecer a colonização de fungos micorrízicos em raízes tem grande potencial na agricultura (ANDRADE *et al.*, 2018). O uso da formononetina, como estimulante de micorrização nas culturas, tem demonstrado capacidade de estimular a colonização com espécies nativas de fungos micorrízicos.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial de substratos constituídos de amostras de solo e resíduos orgânicos (composto de lixo urbano e resíduo de sisal), bem como o uso de formononetina para produção de mudas de *Leucaena leucocephala*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de setembro a novembro de 2015, em viveiro na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), localizado em Cruz das Almas, Bahia, nas coordenadas: latitude 12° 40' 19" S e longitude 39° 06' 23" W. Segundo Köppen (1948), o clima da região é classificado como tipo Af, ou seja, clima do tipo quente e úmido; a pluviosidade média anual é de 1.200 mm, com temperatura média anual de 24,2 °C e a umidade relativa do ar de aproximadamente 82%, sendo que o trimestre mais chuvoso ocorre nos meses de maio-junho-julho.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 5 x 2, combinando cinco proporções de solo: composto orgânico (100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80) e duas doses de isoflavonóide formononetina (0 e 1,0 mg por semente), com sete repetições, totalizando 70 unidades experimentais. A unidade experimental consistiu de um saco de polietileno preto perfurado com volume para 1 dm³, contendo uma planta.

For cultivation substrates, samples of the A horizon of a medium texture dystrophic Yellow Latosol were collected on the UFRB Campus. After drying in the shade, soil collected was passed through a 4 mm mesh sieve before use.

Another component of the composite, sisal residue, originated came from the sisal fiber extraction process of a family farm near the city of Valente, in Bahia State. The farm is located at 360 m altitude (latitude 11°25'00" S, longitude 39°29'00" W) (BARRETO *et al.*, 2014). Urban waste compost was collected from the city of Costa do Sauípe, Bahia State, from the Verdecoop Cooperative (Costa dos Coqueiros Recycling and Composting Cooperative), and was composed of organic waste from the cafeteria of a hotel chain and green residue from tree and garden maintenance.

When making-up organic compost for the substrates, 10% of the volume was allocated to sisal residue for each component and the remainder of urban waste compost, which was already matured following the composting process.

Each portion of soil, plus composted organic material, was homogenized based on volume, and experimental units were then added in the desired proportions. Based on the proportions of organic compost, substrates were designated as Sub₀ (0% compost), Sub₂₀ (20% compost), Sub₄₀ (40% compost), Sub₆₀ (60% compost) and Sub₈₀ (80% compost). Following substrate preparation, a sample of each treatment was removed for chemical analysis, following the procedures described in Donagema *et al.* (2011). The results are given in Table 1.

Para compor os substratos de cultivo foram coletadas, no Campus da UFRB, amostras do horizonte A de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. O solo coletado, após secagem à sombra, foi passado em uma peneira de 4 mm de malha.

O resíduo de sisal, utilizado para compor o composto, foi oriundo do processo de extração das fibras de sisal de um agricultor familiar no município de Valente, estado da Bahia, localizado a 360 m de altitude, situado entre as coordenadas de 11°25'00" de latitude sul e 39°29'00" de longitude oeste (BARRETO *et al.*, 2014). O composto de lixo urbano foi coletado na cidade de Costa do Sauípe-BA, na Cooperativa Verdecoop (Cooperativa de Reciclagem e Compostagem da Costa dos Coqueiros), contendo na sua constituição resíduo orgânico do refeitório da rede hoteleira e das podas de árvores e jardins.

Para compor as proporções de composto orgânico nos substratos foi fixado 10% de resíduo de sisal em cada proporção e o restante completado com composto de lixo urbano, que já estava maturado após o processo de compostagem.

Cada proporção de solo com composto orgânico foi homogeneizada com base no volume de solo, completando-se com o volume do composto. Em seguida, acondicionadas nas unidades experimentais. De acordo com as proporções de composto orgânico, os substratos foram especificados da seguinte forma: Sub₀ (0% de composto), Sub₂₀ (20% de composto), Sub₄₀ (40% de composto), Sub₆₀ (60% de composto) e Sub₈₀ (80% de composto). Após o preparo dos substratos, retirou-se uma amostra de cada tratamento para a caracterização química, conforme os procedimentos descritos em Donagema *et al.* (2011). Os resultados encontram-se dispostos na Tabela 1.

Table 1 - Chemical analysis of substrates with and without formononetin for *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit seedling production

Tabela 1 - Caracterização química dos substratos adicionados ou não de formononetina para produção de mudas de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit

Substrate	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC	MO	Cu	Fe	Zn	Mn
	H ₂ O	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	-----	-----	-----	-----
With formononetina															
Sub0	5.3	8.0	0.1	0.8	0.4	0.1	0.2	2.0	1.5	3.6	19.0	0.8	103.5	1.1	15.8
Sub20	6.9	215.0	0.4	3.3	1.9	0.3	0.0	0.3	5.9	6.2	22.0	0.4	24.6	3.9	25.6
Sub40	7.4	251.0	0.8	4.8	3.0	0.8	0.0	0.0	9.4	9.4	46.0	0.5	35.1	6.0	31.7
Sub60	7.0	242.0	1.9	6.5	3.7	1.9	0.0	0.0	13.9	13.9	69.0	0.6	45.6	12.2	70.2
Sub80	7.0	251.0	2.1	8.4	5.3	2.1	0.0	0.0	17.9	17.9	83.0	0.6	37.5	12.5	67.6
Without formononetin															
Sub0	5.2	9.0	0.1	0.7	0.4	0.1	0.3	1.1	1.2	2.3	13.0	0.6	46.6	1.2	13.2
Sub20	7.7	230.0	0.4	3.0	1.8	0.3	0.0	0.0	5.4	5.4	24.0	0.5	34.9	3.5	26.9
Sub40	7.3	233.0	0.8	5.1	3.3	0.9	0.0	0.0	10.1	10.1	40.0	0.4	42.7	6.3	38.4
Sub60	7.2	226.0	1.6	7.8	5.1	1.6	0.0	0.0	16.0	16.0	72.0	0.5	49.5	9.7	54.4
Sub80	7.2	258.0	1.6	8.0	5.3	1.6	0.0	0.0	16.4	16.4	79.0	0.5	41.6	11.4	61.8

To break dormancy *L. leucocephala* seeds were submitted to mechanical scarification with the aid of No. 120 sandpaper (CARRIJO *et al.*, 2008). Three seeds were sown per experimental unit at a depth of 1.0 cm. The isoflavonoid formononetine (7-hydroxy-4'-methoxy-isoflavone, Myconate®), a mycorrhizal stimulant, was applied directly to the soil, adjacent to the seeds at the time of sowing at one of two doses: 0 (no inoculation) and 1.0 mg (with inoculation). The latter being the dose recommended by Plant Health Care (PHC), INC., Pittsburgh, USA, supplier of the product for soya cultivation (CORDEIRO *et al.*, 2015).

Plants were thinned one month after sowing, leaving one plant – that with greatest vigor – per experimental unit. During the experimental process weeds were removed manually, and irrigation occurred when required to maintain substrate moisture content between 60 and 80% of field capacity.

At 60 days after sowing, the following characteristics were measured: shoot height (H), measured with ruler graduated in centimeters (cm); diameter of the stem (D): measured with precision calipers graduated in millimeters (mm); relation between shoot height and stem diameter (HD); number of nodules (NN); shoot dry mass (SDM); root dry mass (RDM); total dry mass (TDM) and Dickson Quality Index (DQI). Plants were collected, roots and aerial parts separated at the base of the stem, washed in running water, and the nodules detached and counted to obtain NN values. To determine ADM and RDM, samples were placed in paper bags, dried in an air circulation oven at 60°C until constant weight was achieved, the sum of ADM and RDM gave the TDM value. DQI was calculated according to Dickson *et al.* (1960).

Data were submitted to analysis of variance and, when this was significant, an F-test was used to test for the effects of formononetin isoflavonoid application (qualitative treatments), while polynomial regression was used for the proportions of soil and organic residues (quantitative treatments). All analysis was conducted using the SISVAR® (FERREIRA *et al.*, 2014) statistical program.

RESULTS

There was a significant interaction ($p \leq 0.05$) between the factors studied for the RDM, TDM and DQI variables. However, for the variables H, D, HD, NN and ADM no interaction was recorded. In the absence of interaction, individual effects of each factor was analyzed, while for significant interactions an unpacking analysis was performed (Table 2).

As sementes de *L. leucocephala* foram submetidas à escarificação mecânica, com o auxílio de uma lixa de nº 120, a fim de quebrar a dormência (CARRIJO *et al.*, 2008). Três sementes foram semeadas por unidade experimental, na profundidade de 1,0 cm. O isoflavonóide formononetina (7-hydroxy-4'-methoxy-isoflavone, Myconate®), produto estimulante da micorrização, foi aplicado ao solo, próximo às sementes no momento da semeadura, na concentração 0 (sem inoculação) e 1,0 mg (com inoculação), sendo essa a dose recomendada pela companhia Plant Health Care (PHC), INC., Pittsburgh, USA, fornecedora do produto para soja (CORDEIRO *et al.*, 2015).

O desbaste das plantas foi realizado após um mês da semeadura, deixando uma planta, a de maior vigor, por unidade experimental. Na condução do experimento foi realizada a remoção manual das plantas espontâneas, a irrigação foi feita quando necessário a fim de manter o teor de umidade dos substratos entre 60 a 80% da capacidade de campo.

Aos 60 dias após a semeadura, realizou-se a avaliação das seguintes características: altura da parte aérea (H), medida com régua graduada em centímetros (cm); diâmetro do caule (D), medido com paquímetro de precisão graduado em milímetros (mm); relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do caule (HD), número de nódulos (NN), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD). As plantas foram coletadas, as raízes separadas da parte aérea na base do caule, sendo lavadas em água corrente, e os nódulos foram destacados e contados, desta forma, foi obtido o NN. Para as determinações da MSPA e MSR, as amostras foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação de ar a 60 °C até peso constante, a soma da MSPA com a MSR resultou na MST. O IQD foi calculado de acordo com Dickson *et al.* (1960).

Os dados foram submetidos à análise de variância, quando significativos, utilizou-se o teste de F para a aplicação do isoflavonóide formononetina (tratamentos qualitativos) e de regressão polinomial para as proporções de solos e resíduos orgânicos (tratamentos quantitativos). O programa estatístico utilizado foi o SISVAR® (FERREIRA *et al.*, 2014).

RESULTADOS

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores estudados para as variáveis MSR, MST e IQD. No entanto, para as variáveis H, D, HD, NN e MSPA não houve interação. Na ausência de interação foi analisado o efeito individual de cada fator e para interação significativa foi realizado o desdobramento (Tabela 2).

Table 2 - Means and adjusted equations for growth variables for *Leucaena leucocephala* Lam. De Wit seedlings grown on substrates with different soil and organic compost ratios, with or without application of the isoflavonoid formononetine

Tabela 2 - Médias e equações ajustadas para variáveis de crescimento das mudas de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit desenvolvidas em substratos com diferentes proporções de solo e composto orgânico, com ou sem aplicação do isoflavonóide formononetina

Variables	Substrates					C.V. (%)	Equation	R ²
	Sub ₀	Sub ₂₀	Sub ₄₀	Sub ₆₀	Sub ₈₀			
Individual effect of proportions of organic compost								
H (cm)	20.40	26.82	33.25	39.68	46.11	12.66	$\hat{Y} = 20.40 + 0.03^{**}x$	0.85
D (mm)	3.65	4.76	5.47	5.77	5.66	11.31	$\hat{Y} = 3.65 + 0.07^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.99
HD	5.07	5.76	6.45	7.14	7.82	13.55	$\hat{Y} = 5.07 + 0.03^{**}x$	0.81
ADM (g)	0.38	1.42	2.06	2.28	2.10	19.66	$\hat{Y} = 0.38 + 0.06^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.99
Unpacking analysis (formononetin applied)								
RDM (g)	0.31	0.90	1.21	1.23	0.97	21.96	$\hat{Y} = 0.31 + 0.04^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.99
TDM (g)	0.66	2.40	3.41	3.70	3.28	17.70	$\hat{Y} = 0.66 + 0.11^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.98
DQI	0.13	0.35	0.47	0.49	0.41	19.58	$\hat{Y} = 0.13 + 0.01^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.98
Unpacking analysis (formononetin not applied)								
RDM (g)	0.37	0.78	0.99	1.01	0.84	21.96	$\hat{Y} = 0.37 + 0.03^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.77
TDM (g)	0.78	2.12	2.90	3.10	2.73	17.70	$\hat{Y} = 0.78 + 0.08^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.96
DQI	0.16	0.31	0.40	0.41	0.35	19.58	$\hat{Y} = 0.16 + 0.01^{**}x - 0.01^{**}x^2$	0.88

** significance at 1% probability (F test); H: shoot height; D: stem diameter; HD: relationship between shoot height and shoot diameter; ADM: above-ground dry mass; RDM: root dry mass; TDM: total dry mass and DQI: Dickson Quality Index.

** significância a 1% de probabilidade pelo teste F; H: altura da parte aérea; D: diâmetro do caule; HD: relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do caule; MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca da raiz; MST: massa seca total e IQD: índice de qualidade de Dickson.

Averages for H and HD were adjusted with an linear growth model. Mean values for D were adjusted with a quadratic model, where the maximum value estimated was 6 mm per plant for the ratio 35:65 (soil:organic compost). For NN, *L. leucocephala* nodulation occurred only on the substrate to which no organic compound (Sub₀) had been added. This was true both for plants that received, and did not receive, formononetine.

The compost ratio giving maximum ADM values (2.28 g per plant) was 39, so the substrate was prepared with the ratio 61:39 (soil: organic compost). With a quadratic response, the adjusted function for the RDM showed that the ratio 48:52 (soil: organic compost) yielded values of 1.26 g per plant for seedlings with formononetin, and 1.0 g per plant for seedlings without formononetin. TDM showed quadratic behavior when analysed for response to organic compost ratios both with and without formononetin. The adjusted function for TDM showed maximum values of 3.7 and 3.1 g per plant for the ratios 42:58 and 43:57 (soil: organic compound), respectively, for seedlings with and without formononetin.

As médias de H e HD foram ajustadas por um modelo linear crescente. As médias do D foram ajustadas por um modelo quadrático, em que o valor máximo estimado foi de 6 mm por planta na proporção 35:65 (solo:composto orgânico). Quanto ao NN, somente no substrato sem adição de composto orgânico (Sub₀) houve nodulação de *L. leucocephala*, tanto as plantas que receberam formononetina quanto as que não receberam.

A proporção de composto que proporcionou o valor máximo de MSPA (2,28 g por planta) foi 39, logo, o substrato elaborado pela relação 61:39 (solo:composto orgânico). Com resposta quadrática, a função ajustada para a MSR revelou que a proporção 48:52 (solo:composto orgânico) proporcionou os valores de 1,26 g por planta para as mudas com formononetina e 1,0 g por planta para as mudas sem formononetina. A MST apresentou comportamento quadrático quando submetidas às proporções do composto orgânico com e sem a aplicação de formononetina. A função ajustada para a MST revelou que os valores máximos foram de 3,7 e 3,1 g por planta nas proporções de 42:58 e 43:57 (solo:composto orgânico), respectivamente, para as mudas com e sem formononetina.

DQI data also showed quadratic behavior, with the estimated proportion being 46:54 (soil: organic compound), providing a maximum value of 0.49 for seedlings treated with formononetin, and 0.41 for the seedlings that did not receive formononetin.

There was no difference ($p > 0.05$) between treatments with and without formononetin, for the variables H, D, HD and ADM (averages given in Table 3).

Para o IQD, verificou-se comportamento quadrático dos dados, sendo a proporção estimada de 46:54 (solo:composto orgânico) a que proporcionou os valores máximos de 0,49 para as mudas tratadas com formononetina e 0,41 para as mudas que não receberam a aplicação de formononetina.

Em relação ao efeito da aplicação do isoflavonóide formononetina, observou-se que não houve diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos com e sem formononetina para as variáveis analisadas, H, D, HD e MSPA, sendo as médias apresentadas na Tabela 3.

Table 3 - Averages of height (H), diameter (D), relationship between height and diameter (HD) and above-ground dry mass (ADM) for *Leucaena leucocephala* Lam. De Wit seedlings with and without isoflavonoid formononetine

Tabela 3 - Médias das variáveis altura (H), diâmetro (D), relação entre altura e diâmetro (HD) e massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit com e sem influência do isoflavonóide formononetina

Treatment	H ^{ns}	D ^{ns}	HD ^{ns}	ADM ^{ns}
	cm per plant	mm per plant		g per plant
With formononetin	34.27	5.14	6.51	1.77
Without formononetina	32.24	4.98	6.39	1.53
General Mean	33.25	5.06	6.45	1.65
C.V. (%)	12.66	11.31	13.55	19.66

^{ns}: not significant (F-test).

^{ns}: não significativo pelo teste F.

DISCUSSION

The addition sisal residue and urban waste-derived organic compost in various proportions to the soil in which leucena seedlings were raised resulted in increases in the measured variables H, D and HD. Such increases may be related to the chemical characteristics of the growth medium, described in Table 1. Adding compost to the soil increased macronutrients (P, K, Ca, Mg), as well as SB, CTC and reduced exchangeable Al, potential acidity (H+Al) and Cu, when compared to the soil without such additives (Table 1). Chemical characteristics of the substrate used when cultivating forest species such as *L. leucocephala*, influence seedling quality, provide adequate plant nutrition and enhance post-planting seedling survival in the final planting area (BUSATO *et al.*, 2016).

DISCUSSÃO

A adição de proporções de composto orgânico, oriundo de composto de lixo urbano e resíduo de sisal, ao solo na formação de mudas de leucena promoveu incrementos nas variáveis H, D e HD. Esse aumento pode estar relacionado às características químicas dos substratos descritas na Tabela 1. Verifica-se que a adição do composto ao solo promoveu acréscimos nos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg), SB, CTC e redução do Al trocável, da acidez potencial (H+Al) e Cu, em relação ao solo sem substrato (Tabela 1). As características químicas do substrato empregado no cultivo de espécies florestais, como a *L. leucocephala*, influencia na qualidade das mudas, proporcionando adequada nutrição das plantas e possibilitando maior sobrevivência das mudas após plantio na área definitiva (BUSATO *et al.*, 2016).

Although contents of the micronutrients Zn and Mn had increased (Table 1), no phytotoxic effect of these elements was observed on the studied *L. leucocephala* seedlings and, therefore, there was no visible damage to plant growth. In contrast, Lins *et al.* (2007) found that high levels of Fe, Mn and Cu in the soil may have inhibited the growth of *L. leucocephala* plants, due to higher absorption of these metals. In the current study, the increase in organic matter content associated with the increase in the proportion of organic compost (Table 1) may have favored the immobilization of toxic metals via the complexing with humic or fulvic acids, so minimizing their phytotoxicity to the test species. Organic matter may have a strong role in immobilization of such metals, mainly due to the presence of the carboxylic and phenolic groups, which can generate adsorption sites that then render the metals unavailable to the plants, due either to ionic bonding and/or chelation (MARTINS *et al.*, 2011).

Biological fixation of atmospheric N₂ (BNF) is very sensitive to deleterious environmental conditions. Consequently, many imposed stresses, such as drought, oxygen permeability, low or high pH, nutritional limitations or imbalances, can reduce BNF and nodule formation (TORABIAN *et al.*, 2019). In the current study, inhibition of nodule formation in treatments with high organic compost levels probably occurred because the plants found nutrients readily available, making symbiosis between plants and bacteria unnecessary. Dias *et al.* (2017) observed that *Enterolobium contortisiliquum* seedlings did not nodulate when grown on substrates containing only organic compost, a fact attributed by the authors to the inhibitory effects of organic matter on nodulation, since conditions of higher fertility would increase N availability, reducing nodulation. High N levels in the soil can reduce the amount of N₂ fixed by legumes, since it costs less energy for such plants to absorb N from the soil than to fix it biologically from the atmosphere (TORABIAN *et al.*, 2019).

In addition, an increase was observed in the micronutrients Zn and Mn (Table 1). At high concentrations these metals become toxic to plants and microorganisms (TRANNIN *et al.*, 2001), and may reduce or even inhibit nodulation. Elevation of substrate pH was observed as the proportion of the compost increased (Table 1), which may have contributed to nodule inhibition in treatments with organic compost. Soil acidity is a significant and well-defined constraint on legume productivity and the effectiveness of the biological fixation of N₂, though several species of soil pH effect rhizobia, a relatively restricted set of rhizobial species survive well below pHs of 4.5-5.0 (TORABIAN *et al.*, 2019).

Embora houvesse incremento dos teores dos micronutrientes metálicos Zn e Mn (Tabela 1), não foi constatado efeito fitotóxico desses elementos nas mudas de *L. leucocephala* e, assim, não houve prejuízos para o crescimento das plantas. Contrariamente, Lins *et al.* (2007) constataram que elevados teores de Fe, Mn e Cu no solo, podem ter inibido o crescimento das plantas de *L. leucocephala*, em consequência da maior absorção desses metais. No presente estudo, a elevação do teor de matéria orgânica associada ao aumento da proporção de composto orgânico (Tabela 1) pode ter favorecido a imobilização dos metais tóxicos pela complexação com ácidos húmicos ou fúlvicos, minimizando sua fitotoxicidade à espécie cultivada. A matéria orgânica participa ativamente na imobilização dos metais, principalmente pela presença dos grupamentos carboxílicos e fenólicos, sendo esse comportamento capaz de gerar sítios de adsorção, que tornam o metal indisponível para as plantas por meio de ligações iônicas e/ou quelação (MARTINS *et al.*, 2011).

A fixação biológica do N₂ (FBN) atmosférico é muito sensível às condições ambientais deletérias. Consequentemente, muitos estresses impostos, como seca, permeabilidade ao oxigênio, pH baixo ou alto, limitações ou desequilíbrios nutricionais, podem reduzir a FBN e a formação de nódulos (TORABIAN *et al.*, 2019). No presente estudo, a inibição dos nódulos nos tratamentos acrescidos com composto orgânico, provavelmente, ocorreu porque as plantas encontraram nutrientes disponíveis para sua utilização, tornando a simbiose entre planta e bactéria desnecessária. Dias *et al.* (2017) observaram que as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* não nodularam quando cultivadas em substratos contendo apenas composto orgânico, fato atribuído pelos autores aos efeitos inibidores da matéria orgânica sobre a nodulação, uma vez que em condição de maior fertilidade aumentaria a disponibilidade de N, reduzindo assim a nodulação. Altos níveis de N no solo podem reduzir a quantidade de N₂ fixada pelas leguminosas, já que custa menos energia para as leguminosas absorverem N do solo do que fixar biologicamente a partir da atmosfera (TORABIAN *et al.*, 2019).

Além disso, observou-se que houve aumento dos micronutrientes Zn e Mn (Tabela 1). Os metais em altas concentrações tornam-se tóxicos às plantas e microrganismos (TRANNIN *et al.*, 2001), podendo reduzir ou até mesmo inibir a nodulação. Foi observado elevação do pH dos substratos com o aumento da proporção de composto (Tabela 1), o que também pode ter contribuído para a inibição dos nódulos nos tratamentos acrescidos com composto orgânico. Uma restrição significativa e bem definida à produtividade de leguminosas e à eficácia da fixação biológica de N₂ é a acidez do solo, entretanto há uma gama de efeitos do pH do solo sobre os rizóbios, mas as espécies rizobianas relativamente restritas sobrevivem bem abaixo dos valores de pH 4,5 - 5,0 (TORABIAN *et al.*, 2019).

The DQI is considered a good indicator of seedling quality because it calculates robustness and the balance of biomass distribution in the seedling, weighing the results of variables important in quality evaluation (FONSECA *et al.*, 2002). It was shown in the current study that under a 46:54 (soil: organic compound) ratio *L. leucocephala* seedlings showed a better biomass distribution, providing better plant balance and seed quality, attributed to the chemical characteristics of organic residues and soil (Table 1).

In addition, organic residues, when added to soil in volumes appropriate for the formation of a balanced growth medium, give positive results for seedling production (NÓBREGA *et al.*, 2010, AMARAL *et al.*, 2016, DIAS *et al.*, 2017, PEREIRA *et al.*, 2017), because it beneficially modifies the physical, chemical and biological attributes of the substrate. For *L. leucocephala*, the use of compost derived from urban waste and sisal processing residues are recommended for the production of seedlings, as they were efficient in promoting good initial growth in this species.

Formononetin application influenced the variables RDM, TDM and DQI in *L. leucocephala* seedlings positively (Table 2). The use of formononetine, as a stimulant of mycorrhization in plant cultivation, has shown it has the capacity to stimulate colonization by native species of mycorrhizal fungi and so increase productivity in a variety of crops, including beans (LAMBALIS *et al.*, 2003), potatoes (DAVIES (1995), soya (CORDEIRO *et al.*, 2015) and pennisetum grass (*Urochloa brizantha* = *Brachiaria brizantha*) (SANTIAGO *et al.*, 2017).

In the current study, the use of this isoflavonoid may have allowed greater initial development and dry matter production of seedling roots, possibly due to their colonization with mycorrhizal fungi. The isoflavonoid may have stimulated root growth, which would have meant more sites for mycorrhizal infection. For soybean cultivation, Cordeiro *et al.* (2015) reported that formononetin increased mycorrhizal colonization, nodulation, plant growth and yield. The use of symbiotic stimulants, such as flavonoids, may offer an alternative for improving the beneficial effects of mycorrhization on plant nutrition.

CONCLUSIONS

Organic substrate in a 46:54 (soil: organic compound) ratio gave *Leucaena leucocephala* seedlings with the highest Dickson Quality Index, and so this is the proportion recommended for cultivation of the species in this initial growth phase.

O IQD é apontado como bom indicador de qualidade de mudas, porque é utilizado para o cálculo de robustez e para o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de variáveis importantes empregadas para avaliação da qualidade (FONSECA *et al.*, 2002). Verificou-se no presente estudo que as mudas de *L. leucocephala* submetidas a proporção 46:54 (solo:composto orgânico) apresentaram melhor distribuição da biomassa, proporcionando melhor equilíbrio da planta e qualidade das mudas, atribuída pelas características químicas dos resíduos orgânicos e do solo (Tabela 1).

Resíduos orgânicos, quando adicionados em proporções adequadas para formulação de substratos em conjunto com solo, expressam resultados positivos na produção de mudas (NÓBREGA *et al.*, 2010; AMARAL *et al.*, 2016; DIAS *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2017), em virtude de sua ação proporcionar benefícios aos atributos físicos, químicos e biológicos dos substratos. Para *L. leucocephala*, o uso do composto de lixo urbano e sisal são recomendados para a produção de mudas, pois mostraram-se eficientes para o crescimento inicial desta espécie em fase de muda.

A aplicação da formononetina influenciou positivamente as variáveis MSR, MST e IQD das mudas de *L. leucocephala* (Tabela 2). O uso da formononetina, como estimulante de micorrização nas culturas, tem demonstrado capacidade de estimular a colonização com espécies nativas de fungos micorrízicos e, assim, aumentar a produtividade de diversas culturas, como feijão (LAMBALIS *et al.*, 2003), batata (DAVIES *et al.*, 2005) soja (CORDEIRO *et al.*, 2015) e capim-marandu (SANTIAGO *et al.*, 2017).

No presente estudo, o uso desse isoflavonóide pode ter possibilitado o maior desenvolvimento inicial e produção de matéria seca da raiz das mudas, possivelmente devido à colonização com fungos micorrízicos. O isoflavonóide pode ter estimulado o crescimento radicular e isso significa mais sítios de infecção para micorrizas. Em cultivo de soja, Cordeiro *et al.* (2015) relataram que a formononetina aumentou a colonização micorrízica, nodulação, crescimento de plantas e produtividade. O uso de estimulantes simbióticos, como os flavonóides, pode ser uma alternativa para melhorar os efeitos benéficos da micorrização na nutrição das plantas.

CONCLUSÃO

O substrato orgânico, na proporção 46:54 (solo:composto orgânico), proporcionou o maior índice de qualidade de Dickson nas mudas de *Leucaena leucocephala*, sendo a proporção recomendada para o seu cultivo na fase inicial de crescimento.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AMARAL, F. H.; NÓBREGA, J. C.; NÓBREGA, R. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; AMORIM, S. P. D. N. Growth of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de wit favored by organic waste in de Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 612-617, 2016.
- ANDRADE, F. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; LUSTOSA FILHO, J. F.; ZUFFO, A. M.; MOREIRA, F. M. D. S. Mycorrhization stimulant in soybean associated with phosphate fertilization in Oxisols. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 823-831, 2018.
- ARAÚJO, E. F.; SANTANA ARAUCO, A. M.; LACERDA, J. J.; RATKE, R. F.; MEDEIROS, J. C. Crescimento e balanço nutricional de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* com aplicação de substratos orgânicos e água residuária. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 169-177, 2016.
- BARRETO, A. M. R.; PAULA, A.; BITTENCOURT, P. A. Diagnóstico da arborização urbana do bairro Dionísio Mota, Município de Valente, Estado da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 2108-2119, 2014.
- BRASIL. **Política nacional de resíduos sólidos: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. 2. ed. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. (Série legislação, 81).
- BUSATO, J. G.; ZANDONADI, D. B.; SOUSA, I. M.; MARINHO, E. B.; DOBBS, L. B.; MÓL, A. R. Efeito do extrato húmico solúvel em água e biofertilizante sobre o desenvolvimento de mudas de *Callophyllum brasiliense*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 161-168, 2016.
- CARRIJO, M. S.; DAN, H.; GOULART, M. M. P.; CARNEIRO, D. F.; WALKER, R.; GONÇALVES, A. H.; COSTA, A. Efeitos de métodos para quebra da dormência sobre a germinação de sementes de leucena. **PUBVET**, v. 2, n. 27, 2008.
- CORDEIRO, M. A. S.; FERREIRA, D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, C. R. F.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Mycorrhization stimulant based in formononetin associated to fungicide and doses of phosphorus in soybean in the Cerrado. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, p. 1062-1070, 2015.
- DAVIES, F. T.; CALDERON, C. M.; HUAMAN, Z. Influence of arbuscular mycorrhizae indigenous to Peru and a flavonoid on growth, yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. **HortScience**, v. 40, n. 2, p. 381-385, 2005.
- DIAS, A. S.; PEREIRA, D. S.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, R. S. A. Nodulação natural de *Enterolobium contortisiliquum* em solos contaminados por metais traço e adubados com composto orgânico. In: Rigoberto Rodríguez Quirós. (Org.). **Tierra: Naturaleza, Biodiversidad y Sustentabilidad**. 1 ed. Guanacaste, Costa Rica: Jade, 2017, v. 1, p. 744-752.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.
- FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.
- FORMENTINI, E. A. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2008.
- KOPPEN, W. **Climatologia com um estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- LAMBAIS, M. R.; RÍOS-RUIZ, W. F.; ANDRADE, R. M. Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 160, n. 2, p. 421-428, 2003.
- LINS, C. E. D. L.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. em solos de caatinga sob impacto de mineração de cobre. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 355-363, 2007.

- MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 3/4, p. 383-391, 2011.
- MENDES, M. M. C.; MARQUES, J. S.; FIGUEIREDO, M. D. V. B.; LOPES, G. M. B.; SOUZA, A. R.; ALBUQUERQUE, S. F. Crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* inoculada com *Bradyrhizobium* e fungos micorrízicos arbusculares em Neossolo Litólico. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p. 308-316, 2015.
- NÓBREGA, R. S.; FERREIRA, P. A.; SANTOS, J. G.; BOAS, R. C.; NÓBREGA, J. C.; MOREIRA, F. M. D. S. Substratos para o crescimento de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blumes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 392-397, 2010.
- PEREIRA, D. S.; NÓBREGA, R. S. A.; FILHO LUSTOSA, J. F.; DIAS, A. S.; VELOSO, G. V.; SOUZA, E. A. Crescimento e nodulação natural de feijão-caupi em solos de mineração de chumbo adubados com resíduo de sisal. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 7, n. 4, p. 34-42, 2017.
- RIBEIRO, R. R.; MEZZALIRA, C. C.; FRIGOTTO, T.; NAVROSKI, M. C.; SOUZA, M. A. M. Desenvolvimento e nutrição de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild. De Wild.) em substratos a base de cama de aviário. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 36-44, 2018.
- SANTIAGO, F. E. M.; NÓBREGA, J. C. A.; SANTIAGO, F. L. A.; LOIOLA, E. R.; NÓBREGA, R. S. A.; MOREIRA, F. M. S. Lime and phosphate application as mycorrhizae stimulation to enhance growth and yield of Marandu grass. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2323-2336, 2017.
- SILVA, E. P.; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fósforo no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, 2017.
- SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 609-619, 2014.
- SOUSA, C. S.; PRAZERES, D. C.; SANTOS, I. N.; LIMA, F. S.; SOARES, A. C. F. Potencial agrícola de um composto organomineral à base de resíduo de sisal, esterco e farinha de rocha para produção de mudas de sisal. **Scientia Plena**, v. 12, n. 2, 2016.
- TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. D. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 113-121, 2019.
- TRANNIN, I. C. B.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e nodulação de *Acacia mangium*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Sesbania virgata* em solo contaminado com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 743-753, 2001.