

Crescimento de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong sob lâminas de água e substratos formulados com lodo de esgoto compostado

Growth of *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong seedlings under water slides and substrates formulated with composted sewage sludge

Guilherme Peroni¹  • Guilherme Ferreira Machado¹  • Vitor Paciello Yamashita¹  • Marcelo Fossa da Paz² 
• Thomaz Figueiredo Lobo¹  • Marcos Vinicius Bohrer Monteiro Siqueira³ 

Recibido: 19/1/2021

Aceptado: 10/11/2021

Abstract

With high commercial and environmental value, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) morong is a tree species of the family Leguminosae - Mimosoideae, known as tamboril and used for civil construction, timber products, urban afforestation, and reforestation of degraded areas. In order to analyze the response of the species to the composite sewage sludge (LEC) in relation to the commercial substrate (SC), 5 substrate combinations were used: S1 (100 % SC); S2 (75 % SC + 25 % LEC); S3 (50 % LEC + 50 % SC); S4 (75 % LEC + 25 % SC) and S5 (100 % LEC), each with 4 replicates. These 5 substrate combinations were submitted to 3 irrigation slides: L1 (36 mm/day), L2 (72 mm/day) e L3 (108 mm/day). Biometric parameters (height, diameter, number of leaves), growth speed, dry biomass, Dickson Quality Index, and height/diameter ratio were measured. Based on the values obtained and on the upper averages for all the parameters evaluated, it is recommended to use S5, composed of 100 % LEC with L1.

Key words: Seedlings production; biosolids; nursery of seedlings; reforestation; tamboril.

1. Universidade do Sagrado Coração; Bauru, Brasil. g.speroni@hotmail.com, gf.machado77@gmail.com, vtorpyamashita@gmail.com

2. Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados; Dourados, Brasil marcelopez@ufgd.edu.br

3. Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, Brasil. mvbsiqueira@gmail.com

Resumo

De grande valor comercial e ambiental, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong é uma espécie arbórea da família Leguminosae - Mimosoideae, utilizada para produtos madeireiros, arborização urbana e reflorestamento de áreas degradadas. Objetivando-se analisar a resposta da espécie ao lodo de esgoto compostado (LEC) em relação ao substrato comercial (SC), foram utilizadas 5 combinações de substratos: S1 (100 % SC); S2 (75 % SC + 25 % LEC); S3 (50 % LEC + 50 % SC); S4 (75 % LEC + 25 % SC) e S5 (100 % LEC), cada qual com 4 repetições. Essas 5 combinações de substratos foram submetidas a 3 lâminas de irrigação: L1 (36 mm/dia), L2 (72 mm/dia) e L3 (108 mm/dia). Foram mensurados parâmetros biométricos (altura, diâmetro do coleto e número de folhas), velocidade de crescimento, biomassa seca, Índice de Qualidade de Dickson e a relação altura/diâmetro das plântulas. A partir dos valores obtidos, e com base nas médias superiores para todos os parâmetros avaliados, recomenda-se o uso de S5, composto 100 % LEC mediante o uso da L1.

Palabras clave: Biossólido, produção de mudas, reflorestamento, tamboril, viveiro.

Introducción

Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong espécie arbórea da família Leguminosae - Mimosoideae é conhecido popularmente como tamboril, timbaúva, chimbó ou orelha-de-negro [1]. Com ampla distribuição no Brasil [1], [2] pode ser utilizada para reflorestamento de áreas degradadas, principalmente devido ao rápido crescimento inicial [3] e em reflorestamentos mistos [4]. Sua madeira é usada na fabricação de embarcações, brinquedos, compensados e armações de móveis em geral [3].

Devido ao acelerado crescimento populacional, diversos problemas ambientais têm-se agravado, sendo um dos mais preocupantes o manejo dos resíduos sólidos urbanos, como o lodo de esgoto, proveniente do tratamento de águas residuais [5]. A destinação final desse material tem sido um grande desafio, sendo necessário aprimorar o seu gerenciamento [6], buscando-se estratégias na reutilização do esgoto doméstico, tanto para atividades florestais como agrárias, permitindo assim, melhores alternativas para o seu destino final [7].

O lodo de esgoto compostado (LEC), após tratamento, pode ser utilizado como componente de substrato para

produção de mudas florestais, sendo uma alternativa sustentável de disposição final deste resíduo, podendo trazer benefícios tanto para os geradores de lodo de esgoto, como para os viveiristas [8]. A reciclagem agrícola do lodo de esgoto torna este um composto seguro e de alto valor nutricional para as plantas [9], [10]. Além disso, pode ser uma solução na redução dos altos custos de insumos necessários para produção de mudas florestais. A composição química do LEC depende da origem das águas residuais (efluentes municipais ou industriais) e dos tratamentos aos quais ele é submetido [11]. Em geral, o LEC apresenta altos teores de Nitrogênio (N) e Fósforo (P), o que significa que possui alta capacidade para ser utilizado como fertilizante nitrogenado [12].

Como já destacado, o LEC possui potencial para o uso em plantios florestais, sendo usado tanto como condicionador de solo, quanto como fertilizante, proporcionando assim um barateamento na implantação dos povoamentos florestais e uma menor utilização da adubação mineral convencional. Toledo et al. [13] mostraram que em vários estudos com o uso do biossólido, um aumento do volume de madeira também é verificado em relação à adubação convencional. Os autores constataram ainda que há uma escassez de trabalhos sobre o uso de LEC em plantios de espécies nativas, sendo que a maioria dos estudos foram conduzidos com Eucalipto e Pinus.

O uso do LEC tem-se mostrado eficiente na produção de mudas de espécies arbóreas nativas e na melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, uma vez que este atua como fornecedor de macro e micronutrientes, disponibilizando-os gradativamente através de mineralização e matéria orgânica [14], [15], [16], [17]. Este material possui uma textura fina, apresentando grande quantidade de microporos e poucos macroporos que são responsáveis pela oxigenação; a combinação do substrato comercial (SC) e LEC resulta em um equilíbrio entre macro e microporos, ideal para o processo fisiológico da planta [18]. Na maioria dos produtos encontrados no mercado, o SC é uma mistura de terra comum e vegetal, acrescida ou não de elementos necessários para a composição ideal de cada planta. No presente estudo, a composição do SC será detalhada em Material e Métodos.

Além da questão nutricional, uma das etapas mais importantes na produção de mudas de qualidade é a irrigação, fator que influencia no crescimento e desenvolvimento da planta. Com a falta de água, a muda pode desenvolver deficiência de absorção de nutrientes e estresse hídrico; já o excesso pode ocorrer lixiviação dos nutrientes e proporcionar microclima favorável ao aparecimento de doenças [19], [20]. O aumento da área foliar e o desenvolvimento morfológico está associado

à disponibilidade de água, porém, quantidades acima da capacidade de retenção do substrato afeta negativamente o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus grandis* [21]. A qualidade das mudas pode ser observada por alguns parâmetros biométricos e são estes que irão auxiliar no processo de produção das plantas em viveiro [22]. Vários autores têm sugerido a altura, o diâmetro de coleto e os pesos da parte aérea e radicular como parâmetros importantes a serem utilizados para a determinação dessa qualidade [14], [15], [16] e [17]. O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência do LEC na composição de substratos para produção de mudas de *E. contortisiliquum*, sob diferentes lâminas de irrigação.

Material e Métodos

Condução do experimento

As sementes de *E. contortisiliquum* foram fornecidas pelo viveiro ACIFLORA em março de 2017. Estas foram colhidas quando os frutos iniciaram sua abertura espontânea e diretamente das árvores-matrizes no município de Bauru, SP, e municípios adjacentes, tendo sido respeitado sempre que possível, uma distância de 50-100 m entre os indivíduos. Em seguida, os frutos ficaram amontoados alguns dias para iniciar sua decomposição e assim, despulpá-los manualmente em peneira sob água corrente [16]. Para finalizar o processo, as sementes permaneceram no sol para secagem. Essas apresentavam taxa de germinação abundante (mais de

75 %). Dados como a localização por GPS de cada árvore-matriz, bem como o número de frutos gerado por cada indivíduo não foram disponibilizados pelo viveiro. A semeadura foi realizada em caixas de areia cobertas com vermiculita. Após as mudas terem atingido 5 cm de altura (parte aérea), foram transferidas para tubetes individuais de 120 cm³ como estabelecido em outros estudos [14], [15], [16], [17], [23], sendo posteriormente mantidas em casa de vegetação por 45 dias (sombreamento de 50 %) antes de passarem para área aberta.

O delineamento experimental foi em forma de esquema fatorial (5 substratos x 3 lâminas), gerando-se 200 mudas por lâmina. Como foram avaliadas 3 lâminas de água (L1, L2 e L3), totalizaram-se 600 mudas. A combinação dos substratos com as lâminas de água gerou 15 diferentes tratamentos.

Substratos e irrigação

Para avaliar a influência da quantidade de água durante o experimento, dividiu-se a irrigação em três lâminas de água sendo: L1 (36 mm/dia), L2 (72 mm/dia) e L3 (108 mm/dia) de acordo com a metodologia aplicada em outros trabalhos [15], [16], [17] e [23]. No viveiro, as regas foram controladas diariamente no período da manhã e da tarde por um sistema computadorizado de irrigação com microaspersores tipo Fog, com bicos do modelo mist, sendo que 200 tubetes receberam a L1, 200 a L2 e finalmente, 200 a L3, sendo cada lâmina aplicada sobre uma bancada distinta [14], [15], [17] e [23]. O substrato de origem comercial (Carolina Soil®), identificado como SC composto à base de turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e

Tabela 1. Análises físico-químicas dos substratos utilizados no experimento, no início e no final da pesquisa, de acordo com o substrato (S).

Table 1. Physicochemical analyzes of the substrates used in the experiment, at the beginning and at the end of the research according to the substrate (S).

Substratos	Macroporos (mg kg ⁻¹)	Microporos (mg kg ⁻¹)	Porosidade total	Retenção de água (mm cm ⁻³)	pH	Condutividade elétrica (s/cm)
INICIAL						
S1	30,46	46,89	77,35	24,37	6,48	0,43
S2	26,13	54,04	80,17	28,08	7,11	0,67
S3	13,31	62,98	76,29	32,80	7,31	0,97
S4	20,16	58,33	78,49	30,43	7,34	0,15
S5	12,07	59,92	71,98	31,13	7,34	0,17
FINAL						
S1	34,64	50,87	85,31	26,43	6,88	0,09
S2	32,95	51,67	84,62	26,84	7,00	0,10
S3	32,99	51,88	84,87	27,04	7,05	0,09
S4	31,14	52,87	84,01	27,58	7,08	0,08
S5	20,69	57,79	78,47	30,10	6,90	0,13

Tabela 2. Caracterização do perfil químico de micronutrientes do substrato lodo de esgoto compostado utilizado no início do experimento.

Table 2. Characterization of the micronutrient chemical profile of the composted sewage sludge substrate used in the beginning experiment.

Determinação	Base úmida
pH (CaCl ₂ 0,01 M)	8,0
Matéria Orgânica Total (Combustão)	22,45 %
Carbono Orgânico	11,14 %
N	0,76 %
P ₂ O ₅	1,26 %
K ₂ O	0,60 %
Ca	2,22 %
Mg	0,61 %
S	0,54 %
Relação C/N	15

fertilizante NPK apresentou as seguintes características: pH = 5,5 +/- 0,5; Condutividade elétrica = 0,7 +/- 0,3; Densidade = 145 kg/m³; Capacidade de retenção de água = 55 %; Umidade máxima = 50 %. O composto orgânico Terafertil, identificado como LEC foi fornecido pela empresa Tera Ambiental (Jundiaí, SP). No final da compostagem foi adicionado uma pequena quantidade de calcário dolomítico como fonte de magnésio, no intuito de dar um padrão ao produto final. A discriminação das misturas considerou os substratos em sua umidade natural. A partir do LEC e do SC foram formuladas cinco combinações de substratos: S1(100 % SC); S2 (75 % SC + 25 % LEC); S3 (50 % LEC + 50 % SC); S4 (75% LEC + 25 % SC) e S5 (100 % LEC).

As características físico-químicas dos tratamentos, antes e no fim do experimento, seguiram a metodologia propostapor [24], [25] (Tabela 1). A partir das características químicas de micronutrientes do LEC (analisadas apenas no início do experimento) determinou-se os valores de N, P₂O₅, K₂O, umidade MO, C, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, pH e condutividade elétrica (Tabela 2).

Parâmetros avaliados

Os parâmetros biométricos avaliados foram: altura das plântulas, diâmetro de coleto (DC), número de folhas (NF), matéria seca da parte aérea e raiz, relação altura/diâmetro (H/DC) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) [26]. Foram realizadas 10 medições com um intervalo de 30 dias cada com auxílio de um paquímetro e uma régua graduada. Essas medições iniciaram-se em abril de 2017, tendo a medição final sido realizada em janeiro de 2018, antes da separação da parte aérea e da raiz.

Após a última avaliação, as mudas foram retiradas dos tubetes, com remoção do substrato e lavagem do sistema radicular. Em seguida, estas foram cortadas à altura do colo, separando-se a parte aérea da raiz, que posteriormente foram secas em estufa, com circulação forçada de ar a 60 °C para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST).

Análise estatística

Foram analisados os valores médios dos diferentes tratamentos nas mudas cultivadas, tipo de substrato e irrigação, considerando-se o delineamento em parcelas subdivididas proposto. Todos os dados obtidos a partir dos parâmetros biométricos foram submetidos ao teste de Tukey a 5 % de significância, com o auxílio de software GraphPad Prism 6.0 [27].

Todas as variáveis foram analisadas através da cinética de crescimento, sobre as quais foi calculado graficamente o coeficiente angular, que representa a velocidade de crescimento. A utilização de equações de regressão linear não só corrige as oscilações normais, como permite avaliar a tendência do crescimento em função dos tratamentos [28]. Os gráficos foram construídos com os valores médios, isolando-se cada variável imposta às mudas. O coeficiente angular foi tirado das curvas pela regressão linear das médias para cada um dos parâmetros medidos durante o período de amostragem. Pela regressão se determinou também o R² e o grau de confiança dos dados. A velocidade medida equivale ao incremento diário (em centímetros), para determinação de altura ou diâmetro de coleto.

Resultados e discussão

Altura das plantas

Avaliando-se a altura das plântulas através da cinética de crescimento foi possível calcular a velocidade de crescimento, isolando-se cada variável pelo método estatístico de regressão linear com grau de confiança maior que 93 % (Tabela 3).

La mayoría de árboles se agruparon en la clase diamétrica de 20-25,9 cm con 65 árboles; 16-22,9 cm con 70 árboles, y de 12-14,9 cm con 14 árboles, para los IS de 27 m, 24 m y 21 m, respectivamente. (Figura 3).

Quando avaliados os substratos e lâminas de água de forma isolada, o fator que apresentou maior influência sobre o crescimento foi o S5 seguido do S4, S3, S2 e S1. Para a lâmina de água, o maior crescimento foi registrado em L3 seguido de L2 e por fim, L1 (Tabela 3).

Tabela 3. Velocidade de crescimento de mudas de *Enterolobium contortisiliquum*.**Table 3.** *Enterolobium contortisiliquum* seedling growth speed.

Variável	Coefficiente angular da regressão	Velocidade de crescimento mudas (cm/dia)	R ²	Confiança (%)
L1	0,0132	4,4 x 10 ⁻⁴	0,8764	93,62
L2	0,0151	5,0 x 10 ⁻⁴	0,9217	96,01
L3	0,0171	5,7 x 10 ⁻⁴	0,919	95,86
S1	0,0108	3,6 x 10 ⁻⁴	0,8987	94,80
S2	0,0135	4,5 x 10 ⁻⁴	0,9201	95,92
S3	0,0161	5,4 x 10 ⁻⁴	0,9298	96,43
S4	0,0171	5,7 x 10 ⁻⁴	0,9409	97,00
S5	0,0181	6,0 x 10 ⁻⁴	0,9387	96,89

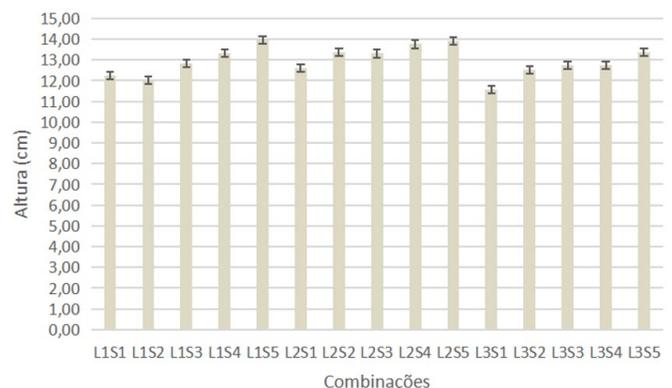
A análise de crescimento baseia-se na premissa de que 90 % da matéria orgânica acumulada ao longo do crescimento da planta resulta da atividade fotossintética, e os outros 10 %, da absorção mineral do solo [28]. A altura da parte aérea da planta é uma característica de fácil medição, sendo bastante utilizada como parâmetro para se determinar a qualidade de mudas de espécies florestais em viveiros [29]. Quando analisados os dados de tamanho final para as combinações dos tratamentos, podemos observar uma tendência de maior crescimento para as combinações com S5 (Figura 1), o que confirma que o substrato LEC traz vantagens para a espécie. Porém, quando analisado juntamente com a lâmina de água, a maior vazão traz tendência à redução na altura média final, demonstrando que apesar de uma maior velocidade de crescimento, a menor porosidade evidenciada pela grande quantidade de microporos que aumentaram a retenção de água, comparativamente ao substrato comercial (Tabela 1). Dessa forma, para este estudo, o aumento da dosagem de LEC gerou uma tendência para maiores ganhos em relação ao crescimento das mudas independentemente das lâminas (Figura 1).

Avaliando-se o desenvolvimento de *Luehea divaricata*, utilizando-se de LEC proveniente de duas estações de tratamento, Sousa et al. [30] obtiveram valores superiores médios em altura, em comparação com o SC formado por casca de pinus compostada e vermiculita. De fato, substratos de menor porosidade apresentam maior capacidade de retenção de água, resultando em menor aeração e, por consequência, menor desenvolvimento de raízes [30], [31], o que interfere diretamente sobre a altura das plantas, visto que são as raízes que lhes dão sustentação [32], [33].

Resultados semelhantes a esse estudo foram obtidos em *Lafoensia pacari* com um substrato à base de LEC [14]. A pesquisa concluiu que a espécie apresentou melhor desenvolvimento com o LEC, com valores superiores

ao substrato comercial, porém, os autores sugerem o uso de fertilização mineral complementar para o melhor desenvolvimento das mudas. Entretanto, no presente estudo, o *E. contortisiliquum* não apresentou diferença significativa com a interação do substrato de LEC em consórcio com o SC. Na avaliação de crescimento por lâmina de água, o substrato S1 apresentou as menores médias de crescimento final quando comparado ao S5, com uma diferença de 1,74 cm entre os dois.

Embora o SC tenha as características necessárias para um bom desenvolvimento em mudas de espécies florestais, no presente estudo houve maior eficiência quando adicionado o composto orgânico (LEC) à sua composição, evidenciando a importância de formular substratos heterogêneos na produção de mudas. Avaliando-se o desenvolvimento de mudas de *Gleditschia amorphoides* a partir de diferentes substratos, Bortolini et al. [34] relataram que mudas produzidas em 50 % de

**Figura 1.** Altura média final de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* para cada tratamento.**Figure 1.** Average final height of *Enterolobium contortisiliquum* seedling for each treatment.

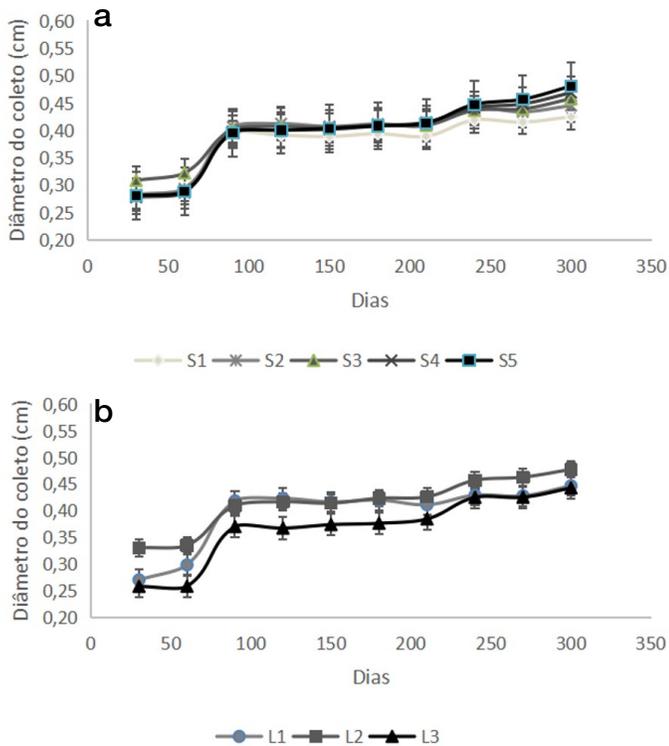


Figura 2. Diâmetro do coleto das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* após a repicagem até a medição final em função do substrato (A) e da lâmina de água (B).

Figure 2. Collection diameter of the *Enterolobium contortisiliquum* seedlings after transplanting to the final measurement according to the substrate (A) and the water slide (B).

Plantmax(r) + 20 % de casca de arroz carbonizada + 30 % esterco bovino apresentaram maior diâmetro (4,5 mm) e altura das mudas (22,7 cm).

Diâmetro de coleto

O DC das mudas de *E. contortisiliquum* não apresentou diferença significativa até a terceira medição (Figura 2), ou seja, 90 dias após o transplante. Entre o 3º e o 4º mês, a L2 apresentou as maiores médias (0,42 cm em S3 e 0,41 cm em S5). Porém, a partir do sétimo mês até a medição final, o S5 apresentou o maior DC nas 3 lâminas (0,47 cm em L1; 0,49 cm em L2 e 0,47 em L3), não apresentando significância estatística, e mostrando apenas uma tendência que vai se estabelecendo durante o crescimento das mudas até o final do experimento.

Quando isolada de substrato, L2 já apresenta diferença nas duas primeiras medidas e a curva se separa das outras duas a partir de 210 dias, mantendo-se com melhor desempenho e com significância estatística. Na medição final, o maior valor de DC foi obtido a partir do uso de S5 (0,49 cm), com a L2. A partir dos resultados

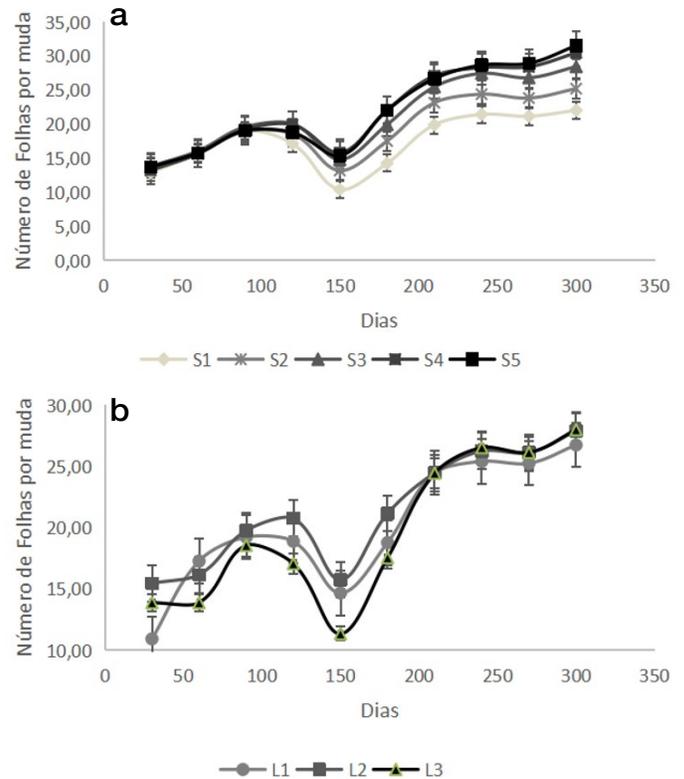


Figura 3. Número de folhas das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* após a repicagem até a medição final em função do substrato (A) e da lâmina de água (B).

Figure 3. Number of leaves of the *Enterolobium contortisiliquum* after transplanting to the final measurement according to the water slide (L).

obtidos, observou-se que o maior fornecimento de água, resultou em um aumento mais consistente no DC, em todos os tratamentos, sobretudo a partir da terceira medição.

O DC é um parâmetro morfológico facilmente mensurável, sendo considerado pela maioria dos pesquisadores como um dos métodos mais importantes para estimar a sobrevivência das mudas de espécies florestais em campo [35]. O DC e altura da parte aérea são os melhores parâmetros morfológicos para determinar o padrão de qualidade de mudas, sendo que as plântulas de maior DC possuem melhor equilíbrio do crescimento da parte aérea, principalmente quando se exige maior rusticificação das mesmas [36]. Resultados semelhantes foram obtidos por Scheer, Carneiro e Santos [33] avaliando o uso de LEC na produção de mudas de *Anadenanthera colubrina*. Estas apresentaram um elevado desenvolvimento de coleto em tratamentos com LEC, sem necessidade da aplicação de fertilizantes. O mesmo foi constatado por Olher et al. [16] com *Cyatharexylum myrianthum* na qual os autores observaram maior DC nas amostras contendo

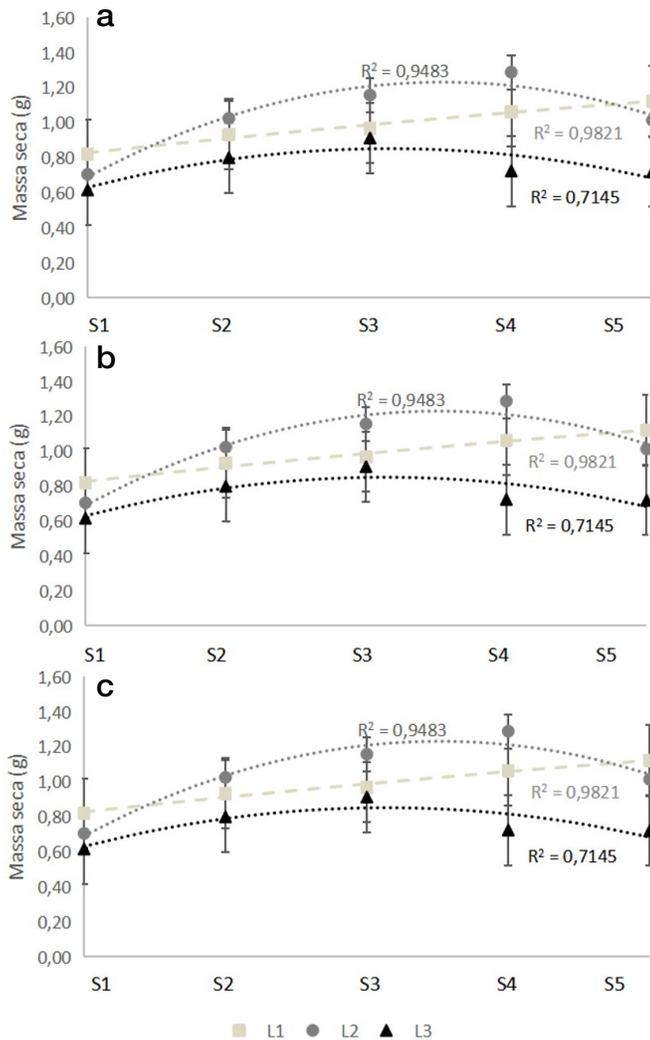


Figura 4. A) Matéria da parte aérea (MSPA), B) matéria seca da raiz (MSR) e C) massa seca total (MST) para as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* sob diferentes substratos (S) e lâminas de água (L).

Figure 4. A) Shoot matter (MSPA), B) The dry matter of the root (MSR), and C) total dry matter (MST) for the *Enterolobium contortisiliquum* seedlings under different substrates (S) and water slides (L).

LEC, em relação ao SC. Avaliando o desenvolvimento de mudas de *Sesbania virgata* em diferentes tratamentos, Delarmelina et al. [37] obtiveram valores superiores (em relação ao SC) no DC (5,07 mm) mediante o substrato formulado com 40 % de LEC e 60 % de SC. De forma similar, Scheer, Carneiro e Santos [38] avaliando mudas de *Parapiptadenia rigida* obtiveram as mesmas conclusões, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho.

Número de folhas

Na quantificação do NF, foi verificado um aumento na quantidade de folhas, seguido de uma queda, aos 120 dias (Figura 3).

A queda observada no presente trabalho para o NF, pode indicar o ciclo de senescência das folhas que parece ser plausível, considerando o período do experimento. Lima et al. [39] encontraram um ciclo de senescência foliar médio para o *E. contortisiliquum* de $139 \pm 11,9$ dias, reforçando assim o fenômeno observado na figura 3. Importante frisar que o *E. contortisiliquum* é considerado espécie decídua, ou seja, apresenta ciclos naturais de perda de folhas.

Na comparação entre as lâminas de água, poucos são os momentos em que há alguma significância estatística, contudo, a L2 apresentou um maior NF durante o desenvolvimento das mudas, praticamente se igualando às demais condições no final do período. Segundo [40] a maior área foliar também pode significar uma maior área susceptível à transpiração pós-plantio, assim como ocorre com mudas produzidas em ambientes com restrições de luminosidade. Apesar disso, a condição que apresentou maior oscilação no número médio de folhas foi justamente o tratamento com maior quantidade de água.

Morgado et al. [15] estudando a *Cecropia hololeuca* sob condições semelhantes não observaram diferenças significativas entre as lâminas de água, indicando assim, que cada espécie reage de forma única a este estímulo dada suas características fisiológicas. Apesar das *Cecropia* sp. serem espécies pioneiras de rápido crescimento, enquanto a *E. contortisiliquum*, ser considerado espécie de clímax exigente em luz, as duas espécies podem ocorrer no mesmo ambiente.

Quando o NF é comparado isolando-se apenas o fator influência do substrato, observa-se um claro aumento no número médio de folhas de S1 para S5, mostrando que o LEC influencia positivamente no aumento do NF, provavelmente, a exemplo da altura, com relação direta com o aumento da disponibilidade de nutrientes (Figura 3).

Os resultados demonstraram que o aumento no teor de matéria orgânica proveniente do LEC também influencia positivamente o desenvolvimento de maior NF. Olher et al. [16] concluíram o mesmo com o *Cyatharexylum myrianthum*, onde houve um aumento no NF de 17,5 % (usando-se SC) para 55,56 % (mistura de água residual de esgoto). Com *P. rigida* também foi encontrado um aumento no NF em todas as combinações contendo LEC quando comparadas ao SC [38]. Os resultados relativamente ao NF apresentaram um incremento de, pelo menos, 51 % com a adição de LEC.

Tabela 3. Valores do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e relação altura/diâmetro (H/DC) para mudas de *Enterolobium contortisiliquum*.**Table 3.** Dickson Quality Index values (IQD) and height/diameter ratio (H/DC) for *Enterolobium contortisiliquum* seedlings.

Substrato	IQD			H/DC		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
S1	0.22	0.18	0.18	4.78	4.82	3.32
S2	0.27	0.28	0.17	5.61	4.87	4.64
S3	0.30	0.15	0.34	6.92	7.16	5.30
S4	0.36	0.21	0.29	7.08	7.72	5.25
S5	0.39	0.30	0.33	7.55	7.77	4.91

Peso de matéria seca

Tanto para a MSPA quanto para MSR, os maiores valores de média foram obtidos em S4 na L2 com $5,79 \pm 1,77$ para parte aérea e $2,18 \pm 0,50$ para raiz (Figura 4).

Em S1, a massa seca não apresenta significância estatística para as 3 lâminas estudadas. Na condição L1 ocorre incremento gradativo nas massas conforme vai aumentando a quantidade de LEC na composição do substrato. Na L2 destaca-se o substrato S4, com ligeira redução no S5. Já em L3, os valores médios são menores e não apresentam diferença entre os substratos, com exceção para o S1.

Resultados semelhantes foram com *Senna alata* [41] onde os valores médios de MSPA variaram entre 0,431 g a 1,563 g sendo os maiores valores obtidos em substratos contendo LEC em sua formulação e em tratamentos com 100 % LEC. Os autores verificaram ainda que na composição dos substratos para a produção de mudas, a adição do LEC produziu ganhos nos parâmetros biométricos altura da parte aérea e DC, bem como da MSR. Em mudas de *Cedrela fissilis* os substratos contendo casca de urucum e húmus de minhoca apresentaram valores superiores de MSPA quando comparados aos substratos com apenas vermiculita [29]. O mesmo foi observado no presente trabalho, onde as formulações com LEC apresentaram maior acúmulo de MSPA (1,12 g em L1, S5; 1,29 g em L2, S4; 0,91g em L3, S3).

Observando-se a figura 5 a melhor combinação entre substrato e lâmina de água é a combinação L2, S4, tanto para a parte aérea quanto para a raiz, demonstrando que uma maior quantidade de LEC (S5) prejudica o desenvolvimento da muda, provavelmente pelo acúmulo de água, provocado pela maior quantidade de microporos resultando na má oxigenação das raízes. A curva de L3 demonstra que, para todas as combinações de substrato ocorre uma limitação no acúmulo de massa

seca demonstrando claramente que essa quantidade de água é excessiva. Para [37] as raízes de plantas jovens têm maior taxa de respiração, assim, o oxigênio necessário para o processo respiratório advém do próprio substrato. Devido a isso, os substratos utilizados em viveiro devem apresentar boa aeração para um melhor desenvolvimento do sistema radicular [42], [43], [44].

No geral, observa-se que, para todas as lâminas de água há algum aumento de massa em relação ao SC puro, mesmo para a irrigação excessiva de L3. Esses resultados corroboram com [45], que avaliando o desenvolvimento de *Tectona grandis*, obtiveram menor média (0,37 g) de MSR no tratamento com 100 % SC, e as maiores médias em tratamentos com 40, 80 e 100 % (1,813 g, 2,024 g, 2,060 g, respectivamente) de LEC na formulação. Segundo [45], [46] e [47], a composição do substrato e a dimensão dos recipientes são fatores que influenciam o pleno desenvolvimento do sistema radicular das mudas e, conseqüentemente, a quantidade de MSR. A MST, que é o resultado da somatória de MRPA e MSR, apresenta o mesmo comportamento dos resultados divididos, ou seja, aumento da massa de S1 a S5 com L1, indicando que o aumento de LEC traz vantagens para essa condição de irrigação. Aumento, seguido de redução na massa em L2, demonstrando o ponto de equilíbrio ideal entre mistura de substrato e irrigação (pico para mistura S4) e por fim, irrigação excessiva em L3, que se agrava no S5.

Os resultados mostram, em linhas gerais, que o tratamento com 100 % de SC apresentou resultados inferiores (2,25 g em L1, 1,67 g em L2 e 1,59 g em L3) aos demais tratamentos formados pela mistura LEC + SC. Estes resultados indicam que, embora o LEC tenha bons atributos químicos, ainda necessita ser misturado a outros componentes a fim de equilibrar o fornecimento de nutrientes e condições físicas necessárias ao desenvolvimento pleno da muda, como aeração e retenção de água [43].

Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

Observou-se que o maior valor de IQD foi em S5 com L1 (0,39), sendo o menor valor expresso no S3 em L2 (0,15). A relação H/DC atingiu o seu maior valor em S5 na L2 (7,77) e o menor valor em S1 na L3 (3,32) (Tabela 3).

A faixa ideal para relação H/DC está entre 5,4 a 8,1 [44]. No presente estudo os valores variaram entre 4,6 e 7,7 sendo que os maiores valores foram obtidos nos substratos com adição do LEC. Segundo [21] o IQD pode variar em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, do tipo e proporção do substrato, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada, no entanto, em regra geral, quanto maior o IQD, melhor é a qualidade da muda produzida [14], [15], [23], [33].

O IQD é um eficiente indicador de qualidade, uma vez que nesse parâmetro são consideradas a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda, avaliando os resultados de várias características importantes empregadas para avaliação [26]. A relação H/DC é considerada um importante parâmetro de avaliação de mudas florestais, uma vez que avalia o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo, além de avaliar sua respectiva capacidade de sobrevivência no campo [35], [42].

Conclusão

A formulação de substratos contendo 75 % e 100 % LEC apresentou resultados superiores na produção de mudas de *E. contortisiliquum* para todos os parâmetros biométricos avaliados. Essas duas formulações foram mais bem atendidas na lâmina de irrigação L2 (72 mm/dia). Segundo o IQD, indicador associado à qualidade de mudas florestais, sugere-se também o uso de 100 % LEC, porém o melhor equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas foi em L1 (36 mm/dia). Os resultados mostram que é possível a redução, ou mesmo a substituição completa, do substrato comercial pelo LEC para a espécie estudada.

Agradecimentos

Ao Viveiro ACIFLORA pela parceria durante a execução do projeto e aos revisores pelas excelentes contribuições.

Referências

[1] C.H. Tokarnia, M. de F. Brito, J. D. Barbosa, P. V. Peixoto, J. Döbereiner. Plantas Tóxicas do Brasil. 2ª ed. Editora

Helianthus, Rio de Janeiro, 2012.

- [2] H. Lorenzi. Plantas Daninhas do Brasil. 3ª ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, São Paulo, 2000.
- [3] H. Lorenzi. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Ed. Plantarium, 1992.
- [4] G. Durigan, D.L.L. Nishikawa, E. Rocha, E.R. Silveira, V.E.L. Ranieri. Caracterização de uma vegetação de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. Acta Botanica Brasilica, vol.16, no.3, p.251-262, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000300002>
- [5] R.P. Singh, M. Agrawal. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, vol. 28, no.2, p. 347-58. 2008; <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>.
- [6] L.C. Godoy. A logística na destinação do lodo de esgoto. Revista Científica on-line - Tecnologia, Gestão e Humanismo, vol. 2, no. 1, p. 79-90, 2013.
- [7] T. F. Sampaio, I.A. Guerrini, C. Backes, J. C.A. Heliodoro, H.S Ronchi, K.M. Tanganelli, N.C. Carvalho, F.C. Oliveira. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, vol. 36, no.5, pp.1637-1645, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500028>
- [8] G.V. Cabreira, P.S.S. Leles, J.M. Alonso, A.H.M. Abreu, N.F. Lopes, G.R. Santos. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. Revista Floresta, vol. 47, no. 2, p. 165-176, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i2.44291>
- [9] J.M.G. Neves, H.P Silva, R.F. Duarte. Uso de substratos alternativos para produção de mudas de moringas. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, vol. 5, no. 1, p. 173-177, 2010.
- [10] Paredes Filho, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. Revista Agroambiental, vol. 3, no. 3, p. 73-80, 2011. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364>
- [11] U. Riaz, G. Murtaza, S. Ullah, M. Farooq, H. Aziz. Chemical fractionation and risk assessment of trace elements in sewage sludge generated from various states of Pakistan. Environmental Science and Pollution Research. vol. 24, no. 2, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07795-4>
- [12] L. H. S. Castro, C. H. de Freitas, D.R. Santos, D.R. Silva. Composição do substrato e parâmetros fisiológicos de crescimento de mudas de Guapuruvú (*Schizolobium parahyba* Vell. Blake). Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável. vol.4, no.1, p.70-75, 2014. <https://doi.org/10.21206/rbas.v4i1.238>
- [13] F. H. S. F. de Toledo, N. Venturin, T. C. Dias. O uso de biossólidos no setor florestal. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, vol.8, no.15, p. 2275, 2012.
- [14] L. O. Santana, F. Araújo, F. L. P. Souza, M. C. Leme, T. Timo, T. F. Lobo, M. V. B. M. Siqueira. Desenvolvimento de mudas de dedaleiro (*Lafoensia pacari*. A.St.-Hil.) mediante diferentes substratos e lâminas de irrigação. Revista do Instituto Florestal, vol. 31, no. 2, p.147-156, 2019. <http://dx.doi.org/10.24278/2178-5031.201931205>

- [15] B. T. Morgado, I. Olher, M. Rossi, T. Timo, T. Lobo, M. V. B. M. Siqueira. Growth of *Cecropia hololeuca* in water blades and substrates formulated with sewage sludge, *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 63, 2020. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2020.3174>
- [16] I. Olher, M. V. B. M. Siqueira, G. H. G. Costa, T.F. Lobo. Crescimento de mudas de pau viola (*Cytherexylum myrianthum*) são potencializadas utilizando resíduos do tratamento de esgoto doméstico. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, vol. 8, no.4, p. 304-310, 2020. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n4.olher>
- [17] L. S. Oliveira, F. Araújo, G.H.G. Costa, T. F. Lobo, M. V. B. M. Siqueira. Influência do lodo de esgoto compostado e de diferentes lâminas de água em mudas de mirindiba. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 40, no. 79, p. 187-195, 2020.
- [18] M. C. Oliveira. Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado. Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2008.
- [19] W. W. C. Morais, F. Susin, M.A. Vivian, M. M. Araújo. Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. *Pesquisa Florestal Brasileira*. vol. 32, no. 69, p. 23-28, 2012. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.23>
- [20] M. O. Martins, R.J.M.C Nogueira, A.D. Azevedo Neto, M.G. Santos. Crescimento de plantas de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. – Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Revista Árvore*. vol. 34, no. 5, p. 771-779, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000500002>
- [21] J. L. W. Lopes, I. A. Guerrini, J. C. C. Saad. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. *Revista Árvore*, vol. 31, no. 5, p. 835-843, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500007>
- [22] U. B. Rossa, A.C. Angelo, D.J. Westphalen, F.O.M. Oliveira, F. F. Silva, J.C. Araújo. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha). *Ciência Florestal*. vol. 25, no. 4, p. 841-852, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509820582>.
- [23] N.G.A.A. Lanzeti, A. C. Chimini, M. Stancare Neto, M. F. Paz, M. V. B. M. Siqueira, Lodo de esgoto compostado e diferentes lâminas de irrigações no desenvolvimento de *Acacia polyphylla*. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*. vol. 9, no. 2, p. 201-211, 2021. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n2.lanzet>
- [24] Brasil. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Ministério da Agricultura, Brasília, 104p. 1988.
- [25] Lanarv. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília: Ministério da Agricultura, 104p. 1988.
- [26] Dickson, A., A. L. Leaf, J. F. Hosner. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, vol. 36, no. 1, p. 11- 13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- [27] Graphpad Prism for Windows. Version 6.0. La Jolla: GraphPad Software, 2015. Disponível em: www.graphpad.com
- [28] M. M. P. Benincasa. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003.
- [29] L. R. Oliveira, S. F. Lima, A.P.L. Lima. Crescimento de mudas de cedro-rosa em diferentes substratos. *Pesquisa Florestal Brasileira*. vol. 34, no. 79, p. 187-195, 2014. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.605>
- [30] T. J. S. Sousa, J. M. Alonso, P. S.S. Leles, E. L. S. Abel, J. G. Ribeiro, J. E. S. Santana. Mudas de *Luehea divaricata* produzidas com biossólidos de duas estações de tratamento de esgoto. *Advances in Forestry Science*, vol. 6, no. .2, p.595-601, 2019. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i2.6992>
- [31] J. R. L. Barbosa, F. Rigon, A. M. Conte, O. Sato. Caracterização de atributos físicos de substratos para fins de produção de mudas. *Revista Cultivando o Saber*, vol.11, no. 1, p. 13-25, 2018.
- [32] C. Klein. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, vol.4, no. 3, pp. 43-63, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i3.40742>
- [33] M. B. Scheer, O. A. Bressan, K. G. Santos. Compostos de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Cerne*, vol. 18, no. 4, p. 613-621, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400011>
- [34] M. F. Bortolini, H. S.Koehler, K. C. Zuffellato-Ribas, A. M. T. Fortes. Crescimento de mudas de *Gleditschia amorphoides* Taub. produzidas em diferentes substratos. *Ciência Florestal*, vol. 22, no. 1, p. 35-46, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050985077>.
- [35] J. M. Gomes, L. Couto, H. G. Leite, A. Xavier, S. L. R. Garcia. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, vol. 26, no. 6, p. 655-664, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>.
- [36] J. M. Gomes, H. N. Paiva. Viveiros florestais: propagação sexuada. 3. Ed., Viçosa: UFV, 2004. 116p. (cadernos didáticos; 72).
- [37] W. M. Delarmelina, M. V. W. Caldeira, J. C. T. Faria, E. O. Gonçalves. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Agro@ambiente On-line*, vol. 7, no. 2, p. 184-192, 2013. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i2.888>.
- [38] M. B. Scheer, C. Carneiro, K. G. Santos. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. *Scientia Florestalis*. vol. 38, no. 88, p. 637-644, 2010.
- [39] A. L. S. Lima, F. Zanella, M. A. Schiavinato, C. R. B. Haddad. Nitrogenous compounds, phenolic compounds and morphological aspects of leaves: comparison of deciduous and semideciduous arboreal legumes. *Scientia Agricola*, vol.63, no.1, p. 40-45. 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000100007>.

- [40] M. S. Buckerigde, M. A. S. Tiné, M. J. Minhoto, D. U. Lima. Respiração In: Kerbauy. G. B. (Ed.). Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 198-216.
- [41] J. C. T. Faria, M. V. W. Caldeira, W. M. Delarmelina, L. C. Lacerda, E. O. Gonçalves. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. Comunicata Scientiae. vol. 4, no. 4, p. 342-351, 2013. <https://doi.org/10.14295/cs.v4i4.242>
- [42] J.G.A. Carneiro. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná: Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense. p. 451, 1995.
- [43] E.P. Fonseca, S. V. Valéri, É. Miglioranza, N. A. N. Fonseca, L. Couto. Padrão de qualidade de mudas de *Thema micranta* (L.) Blume produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. Revista Árvore. vol. 20, no. 4, p. 515-523, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>.
- [44] J. A. Sturion, J. B. M. Antunes. Produção de mudas de espécies florestais In: A.P.M. Galvão (ed.) Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 125-150.
- [45] M. V. W. Caldeira, W. M. Delarmelina, S. G. Lübe, D. R. Gomes, E. O. Gonçalves, A. F. Alves. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. Revista Floresta. vol. 42, no. 1, p. 77-84, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v42i1.26302>
- [46] K. B. P. Gomes, M. L. G. Vilarino, V. P. Silva, A. C. Ferraro, Avaliação da emergência e do crescimento inicial de plântulas de cedro-rosa em diferentes substratos. Revista Agrogeoambiental, vol. 2, no. 1, p. 75-84, 2010. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010255>
- [47] J. L. S. Carvalho Filho, M. F. Arrigoni-Blank; A. F. Blank; M. S. A. Rangel. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. Cerne. vol. 9, no. 1, p. 109-118, 2003.