



Osmocote® proporciona melhores mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess

Osmocote® provides better seedlings of *Calophyllum brasiliense* Cambess

I. N. Jardim^{1*}, M. L. Matos², M. P. Rosario¹, M. O. S. Hamada¹

¹Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pará, 68372-040, Altamira-Pará, Brasil

²Faculdade de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Pará, 68372-040, Altamira-Pará, Brasil

*jardim@ufpa.br

(Recebido em 10 de março de 2023; aceito em 02 de setembro de 2023)

Mudas de espécies florestais são fundamentais para implantação de projetos de reflorestamento para fins comerciais ou ambientais e/ou restauração de áreas degradadas. Dentre os fatores com grande destaque na produção de mudas, tem-se os fertilizantes. Atualmente, o uso de fertilizante de liberação controlado é muito empregado, uma vez que, proporciona mudas de qualidade. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de Osmocote® no crescimento e nutrição de mudas de *Calophyllum brasiliense*. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco doses crescentes do fertilizante de liberação controlada Osmocote® (0,0; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 g L⁻¹). Cada tratamento utilizou 10 repetições (uma planta por repetição). Aos 120 dias após o transplante, foi realizada a avaliação de parâmetros morfológicos das mudas e análise nutricional da parte aérea (folhas). A dose 4,0 g L⁻¹ forneceu a melhor resposta para às variáveis, altura, diâmetro de caule, número de folhas, massa seca da parte aérea e radicular e índice de qualidade de Dickson. O uso de doses abaixo de 4,0 g L⁻¹ ou acima de 6,0 g L⁻¹ diminuíram a qualidade das mudas de *C. brasiliense*. A análise nutricional indicou comportamento quadrático para os macronutrientes P, F, S e Mg, a exceção de N e Ca (linear). Para os micronutrientes, o comportamento foi linear para B e Fe e quadrático para Mn e Zn com o aumento da dose de Osmocote®. Conclui-se, a dose 4,0 g L⁻¹ de Osmocote® melhorou a nutrição e a qualidade das mudas de *C. brasiliense*. Palavras-chave: produção de mudas, guanandi, análise nutricional.

Seedlings of forest species are essential for the implementation of reforestation projects for commercial or environmental purposes and/or restoration of degraded areas. Among the factors with great prominence in the production of seedlings, there are fertilizers. Currently, the use of controlled-release fertilizers is widely used since it provides quality seedlings. The objective was to evaluate the effect of different doses of Osmocote® on the growth and nutrition of *Calophyllum brasiliense* seedlings. The experiment was carried out in a completely randomized design, with five increasing doses of Osmocote® controlled-release fertilizers (0.0; 2.0; 4.0; 6.0 and 8.0 g L⁻¹). Each treatment used 10 replicates (one plant per replicate). At 120 days after transplanting, the evaluation of morphological parameters of the seedlings and nutritional analysis of the aerial part (leaves) were carried out. The 4.0 g L⁻¹ dose provides the best response for the variables height, stem diameter, number of leaves, shoot and root dry mass and Dickson's quality index. The use of doses below 4.0 g L⁻¹ or above 6.0 g L⁻¹ decreased the quality of *C. brasiliense* seedlings. The nutritional analysis indicated a quadratic behavior for the macronutrients P, F, S and Mg, with the exception of N and Ca (linear). For micronutrients, the behavior was linear for B and Fe and quadratic for Mn and Zn with increasing Osmocote® dose. In summary, the 4.0 g L⁻¹ dose of Osmocote® improved the nutrition and quality of *C. brasiliense* seedlings.

Keywords: seedling production, guanandi, nutritional analysis.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess., conhecida popularmente como guanandi, pertence à família Calophyllaceae. O guanandi está presente em todas as bacias brasileiras em diferentes fitofisionomias, adaptado a diferentes climas e solos, desde inférteis e secos, até encharcados e brejosos [1]. Trata-se de uma espécie arbórea que alcança até 40 m de altura na idade adulta e 150 cm de diâmetro na altura do peito (DAP) [2]. *C. brasiliense* possui madeira de boa qualidade e é indicada para uso na construção naval e civil e na movelaria [1]. Apesar de seu potencial como alternativa de uso comercial e ambiental, ainda existe escassez de

conhecimento sobre a produção de mudas de *C. brasiliense*. Portanto, estudos que visem gerar conhecimento sobre produção de mudas de espécies nativas, como guanandi, são de extrema importância para silvicultura [3].

Fatores como adubação, luz, temperatura, substrato, água, sementes, entre outros, influenciam diretamente na qualidade das mudas de espécies florestais [4]. A adubação é um dos aspectos de extrema importância durante o processo de formação de mudas, sendo pouco conhecida para espécies nativas. Nesse sentido, a obtenção de mudas bem nutridas, com boa aparência, tem sido proporcionado pelo uso de fertilizante de liberação controlada (FLC). Esses fertilizantes são revestidos com polímeros biodegradáveis que contêm nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, cruciais para as plantas e são ecologicamente corretos [5]. Além disso, esses fertilizantes são dotados de tecnologias que disponibilizam nutrientes no momento em que são demandados pelas plantas [5] ou por condições propícias de temperatura e umidade [6]. Diminuição da lixiviação e o fornecimento dos nutrientes ao longo de meses são vantagens conferidas ao uso de FLC em relação aos adubos convencionais [7]. Outra vantagem do FLC em relação aos fertilizantes convencionais é a redução do tempo de formação das mudas [8]. Vários são os benefícios produzidos pelo FLC como incremento na área foliar, aumento do diâmetro do caule, na transpiração, fotossíntese, alocação da biomassa, conteúdo nutricional e na qualidade de mudas [7, 9, 10].

Osmocote[®] é um dos FLC mais antigos e seu revestimento é classificado como resina polimérica [11]. O processo de difusão garante a disponibilização de nutrientes adequadamente às exigências das culturas, reduzindo perdas por lixiviação e os efeitos negativos da salinidade elevada na solução do solo [12]. Além dos macronutrientes primários, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os grânulos de Osmocote[®] contém ainda magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu) e molibdênio (Mo). O tempo do produto para liberar nutrientes para o solo ou substrato depende da tecnologia e espessura da membrana, que varia de 3 a 4 até 14 a 16 meses [11].

Desse modo, identificar as exigências nutricionais para cada espécie nativa é de extrema importância, uma vez que existe grande dificuldade em desenvolver protocolos de fertilização específicos para cada espécie. Nesse sentido, foi levantada a seguinte questão: O fertilizante de liberação controlada Osmocote[®] influencia nas taxas de crescimento e concentração de nutrientes para obtenção de mudas de qualidade *Calophyllum brasiliense*? Assim, a hipótese do estudo é que doses de Osmocote[®] influenciam nas taxas de crescimento, nas concentrações de nutrientes e obtém-se mudas com melhor qualidade. Elucidando este tema, podem-se utilizar fertilizantes de liberação controlada em favor da produção de mudas de *C. brasiliense* e, então, disponibilizá-la para esforços de restauração ecológica e comercial.

Diante disso, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de Osmocote[®] no crescimento e nutrição de mudas de *Calophyllum brasiliense* em casa de vegetação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Pará, no município de Altamira, estado do Pará, Brasil. O clima de Altamira, segundo Köppen, é do tipo equatorial Am e Aw, temperatura média de 26 °C, chuva anual média de 1.700 mm e com umidade relativa do ar a 80% [13]. A Floresta Equatorial Latifoliada domina a paisagem natural do município e o solo é constituído por 74% de Latossolos e Argissolos [14].

2.2 Coleta e semeio do guanandi

Os frutos de *C. brasiliense* foram coletados a partir de plantas matrizes localizadas em áreas de reserva legal pertencentes à ELETRONORTE S/A. Os frutos foram despolpados e as sementes limpas, mantidas à temperatura ambiente por 24 horas até a realização da semeadura.

Para a germinação, foram selecionadas sementes com tamanho e morfologia semelhantes e semeadas em badejas plásticas contendo areia Lavada. A medida que as sementes eram germinadas, eram imediatamente transferidas para tubetes de 110 cm³ de capacidade ($\varnothing = 3,5$ cm e H = 14,5 cm), preenchidos com substrato de fibra de coco (AMAFIBRA[®]). O processo de emergência ocorreu em casa de vegetação sob sombreamento de 50% (tela de sombrite). A irrigação do sistema foi realizada manualmente duas vezes ao dia.

2.3 Descrição dos tratamentos e delineamento experimental

Após 30 dias da germinação, foi realizada a seleção de 100 mudas com base no tamanho uniforme das mudas para uso no experimento. Em seguida, foram repicadas para sacos plásticos (1 dm³) preenchidos com substrato fibra de coco já enriquecido com as doses planejadas de Osmocote Plus[®]. A formulação do Osmocote[®] utilizado é 15-09-12 em NPK mais 1,3% de Mg e 2,3% de S. Também apresenta alguns micronutrientes na faixa de 0,05% de Cu, 0,45% de Fe, 0,06% de Mn e 0,02% de Mo em sua composição. O tempo de liberação total dos nutrientes gira em torno de 3 a 4 meses. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (0,0; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 g de Osmocote[®] por litro de substrato), cada tratamento composto por 20 repetições (uma planta por repetição). As mudas permaneceram em casa de vegetação, por 120 dias, com nível de sombreamento de 50%, durante esse período foram irrigadas diariamente pela manhã.

2.4 Coletas de dados (altura, diâmetro de colo e matéria seca)

Após 120 dias de exposição aos tratamentos, foram avaliadas as características morfológicas das mudas. A altura da parte aérea (H), realizada com auxílio de régua graduada em cm, diâmetro do caule (DC), medido com auxílio de paquímetro digital (mm). O número de folhas (NF), obtida pela contagem direta. Em seguida, fez a separação em parte aérea e sistema radicular. Inicialmente, pesaram-se as massas frescas tanto da parte aérea quanto das raízes através do uso de balança de precisão (0,001 g). As amostras individualmente colocadas em sacos de papel Kraft e colocadas em estufa a temperatura de 70 °C, até a massa constante. Realizou-se mensuração da matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR). Também foram determinados alguns índices a partir de relações entre as variáveis anteriores citadas, sendo: RHDC (razão entre altura da parte aérea e diâmetro do caule), MST (massa seca total) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), calculado por meio da equação 1 (Dickson et al. 1960; [15]):

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (1)$$

2.5 Análises de Nutrientes

Amostras de matéria seca trituradas foram enviadas ao laboratório de Análise foliar do Instituto de Solos da Universidade Federal de Lavras, MG, para determinação dos teores de nitrogênio (N) (Kjeldahl), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) (digestão nitroperclórica úmida) e boro (B) (digestão seca), utilizando o equipamento ICP-OES conforme descrito em Tedesco et al. (1995) [16].

2.6 Análises estatísticas

Após ser verificada a normalidade pelo teste de Shapiro-wilk e a homogeneidade de variâncias por meio do teste de Bartlett, submeteu-se os dados à análise de variância e quando significativos, foi aplicado o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Realizou-se à análise de regressão polinomial para as doses de Osmocote[®]. Foi estimada a dose de máxima eficiência técnica

(DMET) para o caso de efeito significativo da equação quadrática. Para análise dos dados utilizou-se o programa estatístico SISVAR [17]. Realizou-se a análise de correlação de Pearson entre as variáveis morfológicas, visando medir o nível de correlação linear entre duas variáveis quantitativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises morfométricas das mudas

Todas as variáveis de resposta apresentaram diferença estatística significativa para as diferentes doses de Osmocote® aplicadas (Tabela 1). Também é possível verificar que os coeficientes de variação (CV) ficaram entre 10,14 % e 19,41 % considerados médios, em se tratando de experimentos realizados em casa de vegetação [18].

Table 1. Resumo da análise de variância da altura da parte aérea (H), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), razão entre altura da parte aérea e diâmetro do caule (RHDC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Calophyllum brasiliense*.

FV	GL	Quadrado Médio							
		H	DC	RHDC	NF	MSPA	MSR	MST	IQD
Dose	4	335**	1,56**	7,34**	128**	0,65**	0,37**	0,61**	0,04*
Resíduo	45	22,8	0,30	0,80	6,03	0,050	0,033	0,04	0,010
Linear	1	22,1 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,16 ^{ns}	11,6 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Quad	1	1209**	2,14*	28,2**	483**	2,07**	0,70**	2,1**	0,06*
Desvio	2	54,7 ^{ns}	1,12*	0,52 ^{ns}	8,89 ^{ns}	0,20*	0,14*	0,07 ^{ns}	0,002 ^{ns}
CV (%)		17,44	11,24	16,00	16,70	12,95	14,50	10,14	19,41
MG		27,4	4,9	5,60	14,70	2,56	1,26	3,84	0,50

FV – Fonte de variação; GL – graus de liberdade; MG – média geral; CV – coeficiente de variação; Quad – quadrático. (**,*) significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; (^{ns}) não-significativo.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson. Observou-se que a maior parte das variáveis apresentou correlação significativa. O índice de correlação foi considerado moderado [19] entre a variável altura da parte aérea e diâmetro do caule, indicando que, geralmente, mudas com maior altura devem também apresentar maior diâmetro. Para tornar esse índice de Pearson mais significativo, é recomendado reduzir a densidade das mudas para que ocorra aumento no diâmetro. A MSPA e MST apresentaram as maiores correlações entre as variáveis.

Table 2. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro do caule (DC), altura da parte aérea (H), número de folhas (NF), razão entre altura da parte aérea e diâmetro do caule (RHDC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Calophyllum brasiliense*.

Variável	DC	H	NF	RHDC	MSPA	MSR	MST	IQD
DC	1	0,57*	0,41 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,68*	0,61*	0,70*	0,75*
H		1	0,68*	0,93*	0,90*	0,53*	0,88*	0,25 ^{ns}
NF			1	0,67*	0,78*	0,42 ^{ns}	0,75*	0,27 ^{ns}
RHDC				1	0,79*	0,37 ^{ns}	0,76*	-0,01 ^{ns}
MSPA					1	0,65*	0,99*	0,52*
MSR						1	0,76*	0,83*
MST							1	0,61*
IQD								1

(*) Coeficientes de correlação de Pearson significativos a 5% de probabilidade de erro; (^{ns}) coeficientes de correlação de Pearson não significativos a 5% de probabilidade de erro.

Em relação à altura, houve uma tendência de aumento com Osmocote® até a dose equivalente a 4,2 g L⁻¹, responsável pela maior altura (33,3 cm) das mudas de *C. brasiliense* (Figura 1A). Em comparação com a ausência de fertilizante, constatou-se um crescimento significativo de aproximadamente 13 cm (62%) quando se fez o uso de 4,0 g L⁻¹ do fertilizante. Contudo, a dose 8,0 g L⁻¹ proporcionou menor incremento em altura (9%) em relação as mudas concebidas sem fertilizante. O maior ganho em altura, proporcionado pela dose 4,0 g L⁻¹ é o bastante para suprir a demanda de nutrientes das mudas de *C. brasiliense*. Entretanto, essa característica e quantidade de Osmocote® usado depende das exigências nutricionais individuais de cada espécie utilizada, da fertilidade do solo ou substrato usado, das possíveis reações entre adubo e solo e da eficácia dos adubos [7]. Resultados semelhantes foram reportados por Pias et al. (2013) [20] que observaram um comportamento quadrático positivo da altura de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). Os autores observaram que plantas tratadas com altas doses de fertilizante apresentaram desenvolvimento inferior àquelas encontradas com doses medianas. Fato corroborado por Navroski et al. (2016) [21] que observaram que as plantas apresentaram crescimento reduzido, em função do excesso de nutrientes que podem causar prejuízos às plantas. Rossa et al. (2015) [22] também observaram ganhos significativos na altura de plântulas em comparação com plantas não fertilizadas.

A altura é uma variável de resposta desejável para mudas cultivadas em casa de vegetação ou viveiro, pois é um método de fácil aferição e não destrutivo para estimar a qualidade das mudas [23]. Além disso, é uma variável importante para indicar quando as plantas estão aptas para o transplântio em campo [24]. Contudo, maior altura não necessariamente significa melhor qualidade das mudas, e por isso, devem-se considerar outras características morfológicas, como o diâmetro do caule. Mudas de *Araucaria angustifolia*, por exemplo, tratadas com altas doses de FLC, apresentaram aumento de altura que não foi acompanhado pelo diâmetro do caule, que resultou no tombamento das mudas [25].

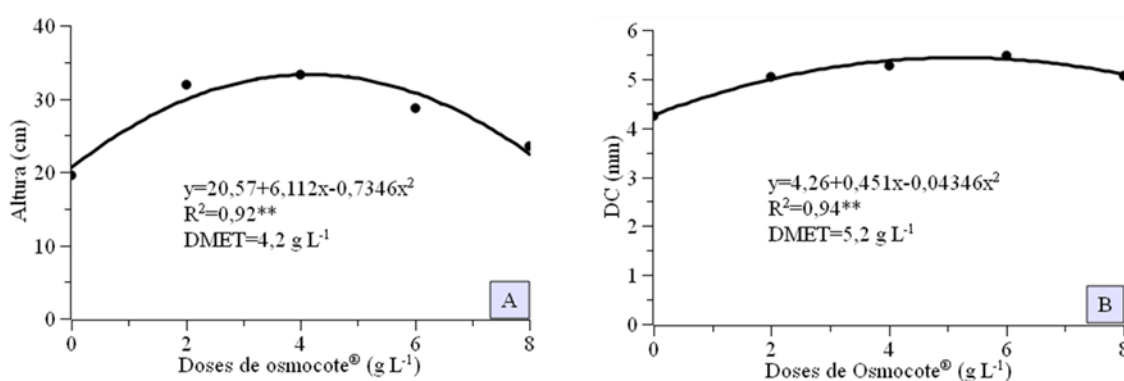


Figura 1. Resultados médios da altura (A) e diâmetro de caule (B) de mudas de *Calophyllum brasiliense* submetidas a diferentes doses de Osmocote® aos 120 dias após o transplântio.

Também foi constatado tendência de aumento no diâmetro médio do caule até a dose equivalente 5,2 g L⁻¹, com valor máximo para o DC de 5,43 mm (Figura 1B). Em comparação com a ausência de Osmocote®, é possível verificar um ganho de aproximadamente 26% no DC das mudas quando se fez uso de 4 ou 6,0 g L⁻¹ do Osmocote®. Resultados similares foram registrados na literatura para várias espécies, mostrando a eficiência da adubação por fertilizante de liberação controlada [21, 26, 27].

O diâmetro do caule é uma medida não destrutiva rápida e fácil, altamente correlacionada com o desempenho futuro da muda e a sobrevivência após o transplântio [28]. Além disso, é uma característica primordial durante a seleção de mudas utilizadas como porta-enxerto, uma vez que o diâmetro do caule é uma das variáveis mais importantes que impactam no sucesso da enxertia [29].

A dose 4,0 g L⁻¹ de Osmocote[®], proporcionou mudas com altura e diâmetro de caule apropriadas para ser levado a campo. Tais valores são concordantes aos tamanhos desejados por empresas e recomendados em alguns trabalhos científicos [30, 31].

Em relação ao parâmetro RHDC, houve uma tendência de aumento com Osmocote[®] até a dose equivalente a 3,9 g L⁻¹, responsável pelo maior RHDC (6,8) das mudas de *C. brasiliense* (Figura 2A). Mudas de espécies florestais de alta qualidade apresentam maior probabilidade de sobrevivência após o plantio em campo, quando possuem valores para RHDC menores que 10 [32]. O parâmetro RHDC exprime um equilíbrio de crescimento, relacionando dois importantes parâmetros morfológicos em um só índice, a altura da parte aérea e o seu respectivo diâmetro do caule [33]. Contudo, o parâmetro RHDC pode variar em função da espécie, da proporção e tipo de substrato usado, do tamanho do recipiente, do manejo das mudas no viveiro e do tempo de avaliação da muda [34].

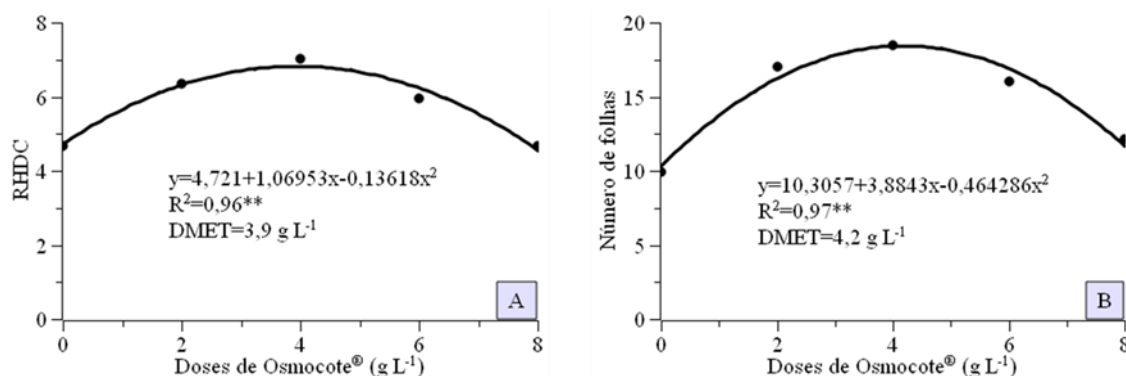


Figura 2. Resultados médios da razão entre altura e diâmetro do caule (A) e número de folhas (B) de mudas de *Calophyllum brasiliense* submetidas a diferentes doses de Osmocote[®] aos 120 dias após o transplantio.

O número de folhas (NF) seguiu aumentando em função do Osmocote[®] até a dose equivalente a 4,2 g L⁻¹, atingindo valor máximo de 18,4 folhas (Figura 2B). A dose 4,0 g L⁻¹ de Osmocote[®] proporcionou um crescimento significativo de aproximadamente 80% em comparação ao número de folhas das mudas sem o fertilizante.

Embora não tenha sido realizada uma análise de área foliar, estudos indicam que aumento do número de folhas por planta também aumenta a área foliar, pois estão diretamente correlacionadas [35]. Esse aumento proporciona maior competência na absorção da energia solar para fotossíntese e produção de fotoassimilados, que são translocados para crescimento em altura e diâmetro do caule, e para acúmulo de matéria seca total [36].

A maior produção de matéria seca da parte aérea (3,43 g) foi obtida com a aplicação de 4,2 g L⁻¹ de Osmocote[®] (Figura 3A). O uso de Osmocote[®] na dose 4,0 g L⁻¹ proporciona crescimento significativo de 152% na MSPA em comparação as plantas do tratamento controle. Por outro lado, as plantas de *C. brasiliense* cultivadas com doses superiores apresentaram menores médias. Fato corroborado também pela redução na altura e diâmetro do caule quando se fez o uso desses tratamentos. Resultados similares já foram registrados na literatura, mostrando a eficácia da adubação com Osmocote[®] na maior produção de matéria seca da parte aérea das mudas [37]. A MSPA é um parâmetro útil para avaliar a qualidade das mudas, pois quanto maior a produção de MSPA, maior taxa fotossintética da planta [38].

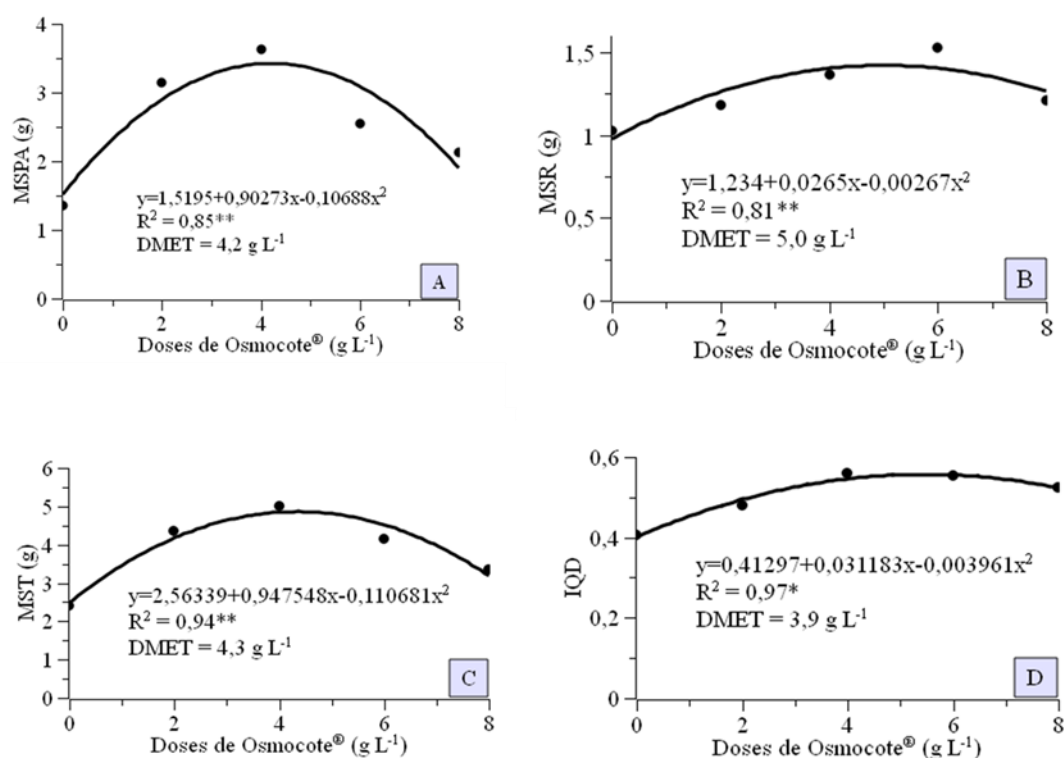


Figura 3. Massa seca da parte aérea (A), massa seca da raiz (B), massa seca total (C) e Índice de Qualidade de Dickson (D) de mudas de *Calophyllum brasiliense* submetidas a diferentes doses de Osmocote® aos 120 dias após o transplantio.

Para a variável massa seca da raiz (MSR), a DMET foi estimada em $5,0 \text{ g L}^{-1}$ (Figura 3B), valor 27% maior que valor obtido no tratamento controle. Assim, doses superiores a $5,0 \text{ g L}^{-1}$ podem prejudicar o desenvolvimento radicular, afetando absorção de água e nutrientes. Resultado semelhante de MSR em função de doses crescentes de Osmocote® foi relatado na literatura [36].

Observou-se aumento gradativo da matéria seca total até a dose equivalente a $4,3 \text{ g L}^{-1}$ de Osmocote®, com valor para MST de $4,6 \text{ g}$ (Figura 3C). O comportamento entre MSPA e MST são similares, uma vez que, a massa seca da parte aérea representa maior porcentagem da massa seca total, fato confirmado pela correlação de Pearson. A maior diferença foi observada na dose de $4,0 \text{ g L}^{-1}$, na qual o incremento de crescimento foi de 92% em comparação as mudas testemunhas. Dutra (2016) [39], que avaliou o crescimento e a qualidade de mudas de *Peltophorum dubium* submetidas a diferentes doses de FLC, obteve resultados semelhantes, com valor de DMET estimada em $8,2 \text{ g dm}^{-3}$. A MST é um bom parâmetro para mensurar o crescimento das plantas, uma vez que estar diretamente relacionada a fotossíntese líquida total.

O aumento máximo na produção de massa seca entre os órgãos vegetais é resultado da assimilação do carbono fotossintético. Além disso, a produção de massa seca é potencializada pela produção de novos tecidos controlados pelo nitrogênio presente na formulação do fertilizante de liberação controlada [40].

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) aumentou até atingir o ponto máximo na dose $3,9 \text{ g L}^{-1}$ de Osmocote® (Figura 3D). O IQD é maior nas doses de fertilizante em comparação com a ausência do fertilizante. Nesta pesquisa, o IQD mostrou-se bom indicador de qualidade das mudas, pois apresentou elevada correlação de Pearson com os demais parâmetros (Tabela 2). Além disso, os valores de seus parâmetros constituintes estão apropriados para o plantio em campo. Somavilla et al. (2014) [37] observou resultados semelhantes, ao avaliar o crescimento de mudas de *Toona ciliata* submetidas a diferentes doses de fertilizante de liberação controlada.

3.2 Análises nutricionais da parte aérea das mudas

As doses de Osmocote® influenciaram os teores de macro e micronutrientes das mudas de *C. brasiliense* ($p < 0,05$). Observou-se no presente estudo, uma resposta quadrática para a maioria dos macro e micronutrientes. Esse fato pode estar relacionado a uma provável sensibilidade do *C. brasiliense* a esses nutrientes ocorridos à medida que aumentam as doses de Osmocote®. Vários trabalhos realizados com outras espécies descrevem comportamentos semelhantes aos relatados aqui [12, 41]. Contudo, comportamentos divergentes também são descritos na literatura para os comportamentos dos macronutrientes em plantas [42].

O teor de N aumentou à medida que foram acrescentadas maiores doses de Osmocote® no substrato, com ajuste linear crescente da equação (Figura 4A). O teor de N foi superior com o uso de Osmocote® na dose 2 g L⁻¹ em relação à testemunha, indicando que Osmocote® em concentrações muito baixas acarretam grande acúmulo de N nas mudas de *C. brasiliense*. Embora a maior dose de Osmocote® usada (8,0 g L⁻¹) tenha mostrado maior teor de nitrogênio, não foi observado no crescimento das mudas de *C. brasiliense*. A maior parte das variáveis morfológicas avaliadas demonstrou que doses superiores a 4,0 g L⁻¹ resultam redução no crescimento das plantas. Sabe-se que excesso ou a deficiência de nutrientes pode afetar o desenvolvimento e a qualidade das mudas. De acordo com Taiz e Zeiger (2009) [43], apesar de o nitrogênio ser um dos elementos químicos que as plantas requerem em grandes quantidades, o seu excesso pode inibir o crescimento das plantas.

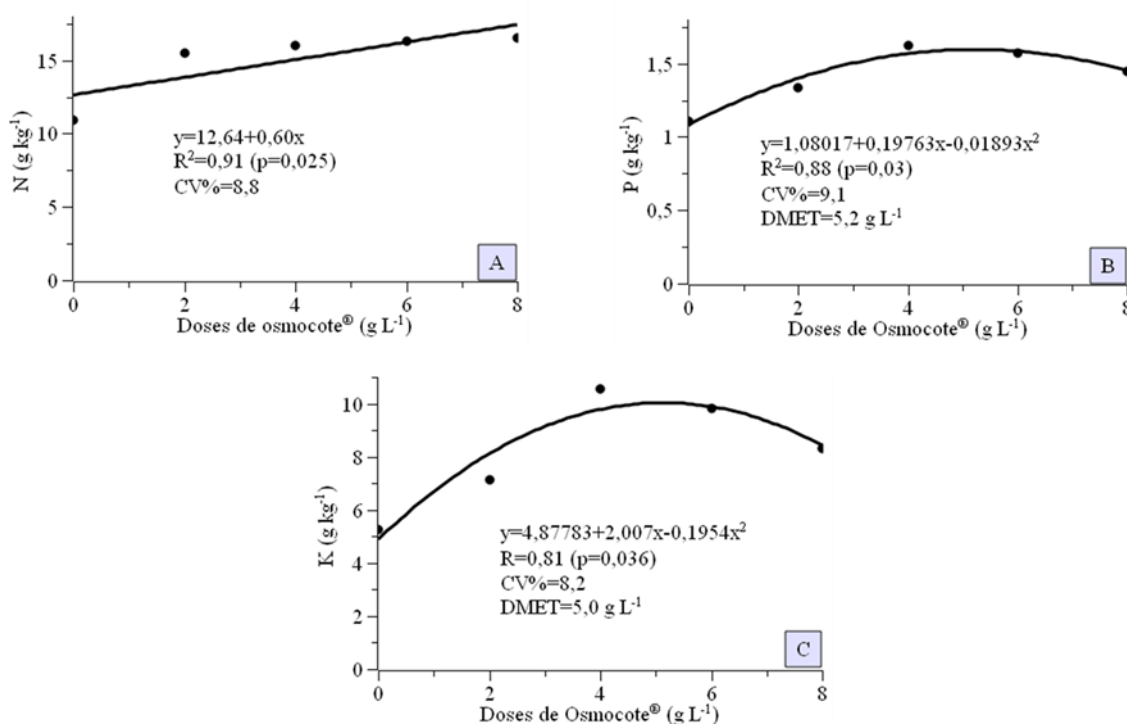


Figura 4. Efeitos da adição do fertilizante de liberação controlada Osmocote® no teor de N (A), P (B) e K (C) da parte aérea (folhas) de mudas de *Calophyllum brasiliense* aos 120 dias após o transplantio.

Aqui se destaca que a espécie *C. brasiliense* é pouco estudada, por isso não há referências, para teores de macro e micronutrientes considerados ideais para a espécie em questão. Todavia, observa-se através da Figura 4A que valores dos teores médios de nitrogênio a partir da dose 4,0 g L⁻¹ se aproximam, e que na maior dose utilizada de Osmocote obtém-se teor de 17,4 g kg⁻¹. Esse valor se encontra entre 12-35 g kg⁻¹ para o N recomendada por Malavolta (1997) [44] nas plantas, de modo geral.

Os maiores teores de P e K, nos tecidos vegetais foram obtidos nas doses de máxima eficiência técnica do Osmocote®, respectivamente com 1,6 e 10,0 g kg⁻¹ (Figuras 3B e C). O teor de fósforo encontrado na matéria seca da parte aérea de *C. brasiliense* é considerado normal de acordo Kopinga e Van den Burg (1995) [45]. Quanto ao potássio, também se apresenta na concentração adequada na matéria seca das plantas baseada na referencia apresentada por Epstein e Bloom (2004) [46]. Esses autores mencionam um teor de 10 g kg⁻¹ de K como apropriado na matéria seca de plantas, geralmente, independentemente de espécie. Também foi observado um aumento considerável do teor de K entre as doses 2,0 e 4,0 g L⁻¹. Esse aumento substancial evidentemente revela maior exigência por esse elemento nesse estágio de desenvolvimento da planta.

A quantidade de Ca cresceu à medida que foram acrescentadas doses maiores de Osmocote® no substrato, com ajuste linear crescente da equação (Figura 5A). Fato que pode estar relacionado com a baixíssima quantidade de cálcio encontrada na formulação usada do Osmocote®. Na maior dose de Osmocote® 8,0 g L⁻¹, o cálcio apresentou um teor médio de 8,3 g kg⁻¹. Epstein e Bloom (2004) [46] apresentaram um valor de 5 g kg⁻¹ como referência para o Ca na matéria seca de plantas. Por outro lado, Larcher (2004) [47] apresenta valores entre 3-15 g kg⁻¹ para Ca nas plantas, de modo geral.

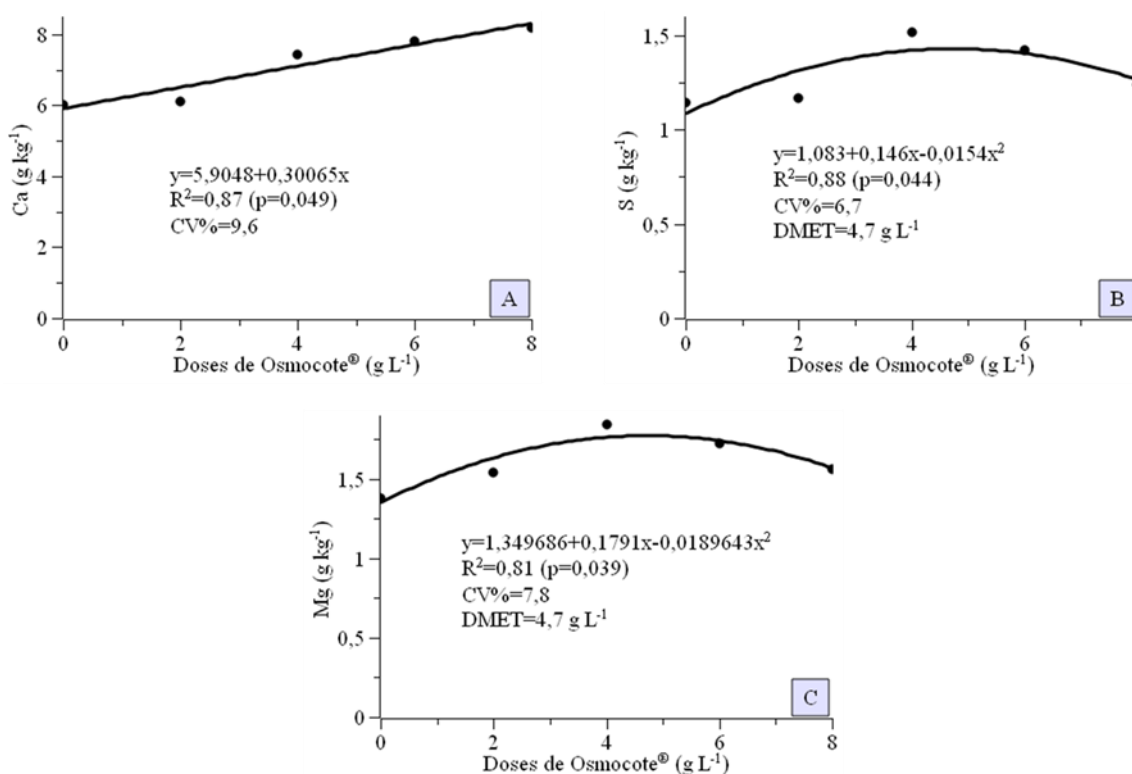


Figura 5. Efeitos da adição do fertilizante de liberação controlada Osmocote® no teor de macronutrientes de Ca (A), S (B) e Mg (C) da parte aérea (folhas) de mudas de *Calophyllum brasiliense* aos 120 dias após o transplantio.

Em relação ao enxofre, houve uma tendência de aumento com Osmocote® até a dose equivalente a 4,7 g L⁻¹, responsável pelo maior teor de enxofre (1,43 g kg⁻¹) nas folhas das mudas de *C. brasiliense* (Figura 5B). Epstein e Bloom (2004) [46] mencionam 1,0 g kg⁻¹ como adequado para a ocorrência de S nas plantas, enquanto SBCS-CQFS (2004) [48] estabelecem um intervalo entre 1,0 a 2,0 g kg⁻¹.

O teor de Mg aumentou com Osmocote® até a dose equivalente a 4,7 g L⁻¹, responsável pelo maior teor de Mg (1,77 g kg⁻¹) nas folhas das mudas de *C. brasiliense* (Figura 4C). Epstein e Bloom (2004) [46] apontam um valor igual a 2,0 g kg⁻¹ como adequado para teor de Mg na matéria seca de plantas, enquanto a SBCS-CQFS (2004) [48] citam para espécies florestais,

valores no intervalo entre 2 e 8 g kg⁻¹. A redução de Mg em doses altas de Osmocote® pode ter acontecido pelo fato de que em altas concentrações de potássio, o Mg sofre inibição competitiva [49]. Além disso, pode ter ocorrido a redução do Mg em parte devido a diminuição do pH ocasionado pelo aumento das doses de Osmocote® [24].

Para o boro, houve redução do teor com a adição de Osmocote® (Figura 6A). Esse fato está correlacionado com a adição do teor de nitrogênio proporcionado pela adição das doses de Osmocote®. De acordo com Malavolta (1997) [44], a adição de doses de nitrogênio reduz absorção de boro por causa da inibição não competitiva causada pelos íons NO₃⁻ e NH₄⁺ na absorção de H₂BO₃⁻. Os teores de B encontrados na matéria seca da parte aérea de *C. brasiliense* estão entre 40,7-43,5 mg kg⁻¹. Segundo Epstein e Bloom (2004) [46], teor de B apropriado situa-se aproximadamente em 20 mg kg⁻¹, valor confirmado por SBCS-SQFS (2004) [48], mencionando no intervalo entre 10 e 50 mg kg⁻¹ para o tecido foliar de determinadas espécies florestais. Contudo, Dechen e Nachtigall (2006) [50] argumentam que, os valores apropriados para o crescimento normal de plantas ficam entre 30 e 50 mg kg⁻¹ e o déficit se expressam de forma severa em teores abaixo de 15 mg kg⁻¹.

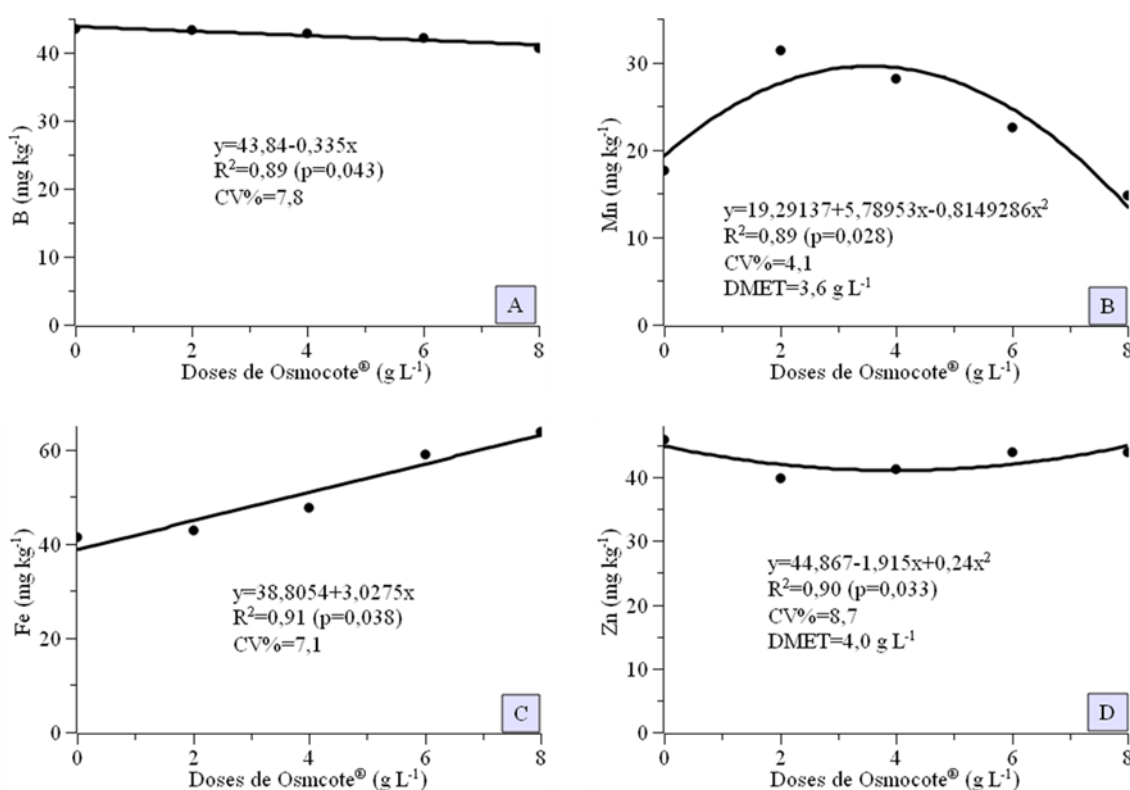


Figura 6. Efeitos da adição do fertilizante de liberação controlada Osmocote® no teor de macronutrientes de B (A), Mn (B), Fe (C) e Zn (D) da parte aérea (folhas) de mudas de *Calophyllum brasiliense* aos 120 dias após o transplantio.

Nas mudas *C. brasiliense*, foi observado efeito quadrático para o teor de Mn na massa seca da parte aérea, mostrando que doses acima de 3,6 g L⁻¹ de Osmocote® promoveram diminuição no teor desse elemento (Figura 6B). Na dose 4,0 g L⁻¹ de Osmocote® obteve-se 29,6 mg de Mn, ou seja, um ganho significativo de 67% em comparação as mudas controle. Teores de Mn entre 20 e 500 mg kg⁻¹ são considerados adequados para o crescimento e desenvolvimento normais das plantas [51], bem acima dos encontrados neste estudo.

O ferro encontrado na parte aérea de mudas de *C. brasiliense* cresceu com a adição de Osmocote® (Figura 6C). Observou-se um que a dose 2,0 g L⁻¹ Osmocote® proporcionou 44,9 mg kg⁻¹ de ferro. Assim, a baixa expressividade do ferro em doses menores, pode estar associada, a presença de maior teor de Mn nesse intervalo, uma vez que o Mn compete e reduz a

absorção de Ferro [52]. De fato, observou-se que o Mn apresenta maior teor nesse intervalo de doses menores (figura 6B). Portanto, segundo Faquin (2005) [53], essas plantas estariam deficientes em Fe, uma vez que teores menores que 50 mg kg^{-1} indicam problemas de deficiência. Por outro lado, as doses no intervalo de 4,0 e 8,0 mg L^{-1} forneceram 50,9 e 63 mg kg^{-1} de Ferro, respectivamente. Nesse intervalo, segundo Conceição et al. (2015) [54], teor de ferro está na faixa adequada, considerando que teor de Fe nos tecidos vegetais varia entre 50 e 250 mg kg^{-1} na matéria seca. Corroborado por Dechen e Nachtigall (2006) [50] que afirmam que a variação do teor de Fe nas plantas pode acontecer entre 10 e 1500 mg kg^{-1} de matéria seca. Ainda segundo os autores, considera-se teores entre 50 e 100 mg kg^{-1} apropriados ao bom crescimento das plantas, e abaixo de 10 mg kg^{-1} plantas com déficit em Fe.

O teor do elemento zinco comportou-se de modo quadrático (Figura 6D). O maior teor de zinco na matéria seca da parte aérea (41 mg kg^{-1}) foi obtido com aplicação de 4,0 g L^{-1} de Osmocote® (Figura 6D). Faquin (2005) [53] considera três situações de acordo com as espécies: concentração ótima (20 a 120 mg kg^{-1}), sintomas de deficiência ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$) e toxidez ($>400 \text{ mg kg}^{-1}$). A espécie *C. brasiliense* neste trabalho apresentou teores dentro da faixa considerada ótima. Ressalta-se que zinco em altas concentrações, é potencialmente tóxico e pode ocasionar diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e da biomassa radicular [55]. O zinco ativa e regular várias enzimas no sistema metabólico da planta [56].

De uma forma geral, os resultados confirmaram a hipótese de que o uso de Osmocote® influenciam nas taxas de crescimento e nas concentrações de nutrientes nas mudas de *C. brasiliense*.

4. CONCLUSÃO

O uso de fertilizante de liberação controlada (Osmocote®) no estágio inicial de crescimento de mudas de *Calophyllum brasiliense* resultou em maiores incrementos de crescimento e qualidade das mudas nas variáveis morfológicas na dose 4,0 g L^{-1} .

Os efeitos da fertilização com Osmocote® influenciaram o acúmulo de massa dos tecidos aéreos e radiculares, e, adequado estado nutricional próximo à dose 4,0 g L^{-1} .

Conclui-se, então, que o uso do Osmocote® adicionado ao substrato mostra-se eficiente no crescimento inicial de mudas de *Calophyllum brasiliense*.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Pará.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. França PHT, Silva ECA, Silva TC, Brasil NA, Nogueira RJMC. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. ACSA. 2017 Out;13(4):264-9.
2. Carvalho PER. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília (DF): Embrapa Informação Tecnologia; 2003
3. Souza AF, Rocha Júnior EO, Laura VA. Desenvolvimento inicial e eficiência de uso de água e nitrogênio por mudas de *Calophyllum brasiliense*, *Eucalyptus urograndis*, *Tabebuia impetiginosa* e *Toona ciliata*. Ciên Florest. 2018 out-dez;28(4):1465-77.
4. BrachtvoegeL EL, Malavasi UC. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert em viveiro. Rev Árvore. 2010;34(2):223-32.
5. Irfan SA, Razali R, KuShaari K, Mansor N. Reaction-multi diffusion model for nutrient release and autocatalytic degradation of PLA-coated controlled-release fertilizer. Polymers. 2017 Mar;9(3):111. doi: 10.3390/polym9030111
6. Oliveira VP, Mendes RS, Martins WBR, Santos EA, Araújo DG, Gama MAP. Desenvolvimento e qualidade de mudas de *Parkia gigantocarpa* Ducke (Fabaceae) em função de fertilizante de liberação controlada. Sci. Plena. 2021 Set;17(9):090201. doi: 10.14808/sci.plena.2021.090201

7. Rossa UB, Angelo AC, Nogueira AC, Westphalen DJ, Bassaco MVM, Milani JEF, et al. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. Floresta. 2013 Jan;43(1):93-104.
8. Stüpp AM, Navroski MC, Felipe D, Kniess DDC, Amancio JC, Silva MA, et al. Crescimento de mudas de *Mimosa scabrella* Benth em função de diferentes tamanhos de recipientes e doses de fertilizante. Ecol Nutr Florest. 2015 Mai;3(2):40-7. doi: 10.5902/2316980X18613
9. Andrade Júnior WV, Santos Filho BG, Oliveira Neto CF, Pereira ACC, Silva RTL, Viégas IJM, et al. Ecophysiological and biochemical behavior in young plants of *Parkia gigantocarpa* Ducke subjected to waterlogging conditions. Afr J Agric Res. 2016 Jan;11(4):284-97. doi: 10.5897/AJAR2015.10459
10. Tian C, Zhou X, Liu Q, Peng J, Wang W, Zhang Z, et al. Effects of a controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer usage efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.). J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol). 2016 Sep;17(10):775-86. doi: 10.1631/jzus.B1500216
11. Landis TD, Dumroese, RK. Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after out planting. Forest Nursery Notes. 2009; Winter 2009:5-12.
12. Gomes EN, Francisco F, Gemin LG, Rossa UB, Westphalen DJ. Qualidade de mudas de quiabeiro em função de diferentes dosagens de fertilizante de liberação lenta. Braz J Appl Tech Agric Sci. 2017 May;10(2):71-8. doi: 10.5935/paet.v10.n2.07
13. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Z. 2013 Jan;22(6):711-28. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
14. Souza ES, Fernandes AR, Braz AMS, Oliveira FJ, Alleoni LRF, Campos MCC. Physical, chemical, and mineralogical attributes of a representative group of soils from the eastern Amazon region in Brazil. Soil. 2018 Sep;4(3):195-212. doi: 10.5194/soil-4-195-2018
15. Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For Chron. 1960 Mar;36(2):10-3.
16. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995.
17. Ferreira DF. Sisvar: A computer statistical analysis system. Cienc Agrotec. 2011 Dec;35(6):1039-42. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
18. Pimentel-Gomes F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba (SP): FEALQ; 2009.
19. Figueiredo Filho DB, Rocha EC, Silva Júnior JA, Paranhos R, Neves JAB, Silva MB. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno. Leviathan (São Paulo). 2014;8:66-95. doi: 10.11606/issn.2237-4485.lev.2014.132346
20. Pias OHC, Cantarelli EB, Berghetti J, Leschewitz R, Kluge ER, Somavilla L. Doses de fertilizante de liberação controlada no índice de clorofila e na produção de mudas de grábia. Pesq Florest Bras. 2013 Jan;33(73):19-26. doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.419.
21. Navroski MC, Tonett EL, Mazzo MV, Frigotto T, Pereira MO, Galvani LV. Procedência e adubação no crescimento inicial de mudas de cedro. Pesq Florest Bras. 2016 Jan;36(85):17-24.
22. Rossa UB, Angelo AC, Westphalen DJ, Oliveira FEM, Silva FF, Araujo JC. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) sp. (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* raddi (aroeira-vermelha). Ciênc. Florest. 2015 Out;25(4):841-52. doi: 10.5902/1980509820582
23. Gomes JM, Couto L, Leite HG, Xavier A, Garcia SLR. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. Rev Arvore. 2002;26:655-64. doi: 10.1590/S0100-67622002000600002
24. Freitas SJ, Carvalho AJC, Berilli SS, Santos PC, Marinho CS. Substratos e Osmocote® na nutrição e desenvolvimento de mudas micropropagadas de abacaxizeiro cv. vitória. Rev Bras Frutic. 2011 Out;33:672-9. doi: 10.1590/S0100-29452011000500094
25. Rossa UB, Angelo AC, Nogueira AC, Reissmann CB, Grossi F, Ramos MR. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. Floresta. 2011 Jul;41(3):491-500. doi: 10.5380/rf.v41i3.24040
26. Silva LDD, Lima APL, Lima SF, Silva RC, Paniago GF. Controlled-release fertilizer in the production and quality of *Acacia mangium* seedlings. Floresta Ambient. 2019;26(2): e02092017. doi:10.1590/2179-8087.020917
27. Rossa UB, Angelo AC, Bognola I, Westphalen DJ, Milani JEF. Fertilização de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. Floresta. 2015 Jan;45(1):85-96. doi: 10.5380/rf.v45i1.31224
28. Bayala J, Dianda M, Wilson J, Ouedraogo SJ, Sanon K. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. New For. 2009 May;38:309-22. doi: 10.1007/s11056-009-9149-4

29. Gomes WA, Mendonça RMN, Souza EP, Estrela MA, Melo VS, Silva SM, et al. Garfagem e diâmetro de porta-enxerto na obtenção de mudas de umbuzeiro do acesso laranja. *Rev Bras Frutic.* 2010 Set;32(3):952-9. doi: 10.1590/S0100-29452010000300041
30. Gomes JM, Paiva HN, Couto L. Produção de mudas de eucalipto. *Informe Agropecu.* 1996;18(185):15-23.
31. Sturion JA, Antunes BM. A. Produção de mudas de espécies florestais. In: Galvão APM, organizador. *Reflorestamento de propriedades rurais para fins de produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais.* Brasília (DF): Embrapa Comunicação para Transferencia de Tecnologia; Colombo (PR): Embrapa Florestas; 2000. p. 125-50.
32. José AC, Davide AC, Oliveira SL. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). *Agrarian.* 2009 Jan;2(3):73-86.
33. Carneiro JGA. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba (PR): Ed. Universidade Federal do Paraná; 1995.
34. Gomes DR, Caldeira MVW, Delarmelina WM, Gonçalves EO, Trazzi PA. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. *Cerne.* 2013 Out;19(1):123-31. doi: 10.1590/S0104-77602013000100015
35. Menegatti RD, Guollo K, Navroski MC, Vargas OF. Fertilizante de liberação lenta no crescimento inicial de *Aspidosperma parvifolium* A. DC. *Sci Agrar. Parana.* 2017 Jan;1(2):45-9. doi: 10.18188/1983-1471/sap.v16n1p45-49
36. Souza AC, Araújo DG, Silva GP, Senado JAV, Gama MAP. Growth and quality of *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. seedlings as a function of controlled release fertilizer doses. *Rev Sustinere.* 2020 Jan;8(1):124-36. doi: 10.12957/sustinere.2020.48582
37. Somavilla A, Cantarelli EB, Mariano LG, Ortigara C, Luz FB. Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante Osmocote Plus®. *Comun Sc.* 2014 Out;5(4):493-8. doi: 10.14295/cs.v5i4.305
38. Lisboa AC, Melo Júnior CJAH, Tavares FPA, Almeida RB, Melo LA, Magistrali IC. Crescimento e qualidade de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* em substrato com esterco bovino. *Pesq Florest Bras.* 2018 Jul;38(e201701485):1-6. doi: 10.4336/2018.pfb.38e201701485
39. Dutra TR, Massad MD, Sarmiento MFQ, Matos OS, Oliveira JC. Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*). *Floresta.* 2016 Out;46(4):491-8. doi: 10.5380/ufv.v46i3.44570
40. Smiderle OJ, Montenegro RA, Souza AG, Chagas EA, Dias TJ. Container volume and controlled-release fertilizer influence the seedling quality of *Agonandra brasiliensis*. *Pesq Agropec Trop.* 2020 Jul;50:e62134. doi: 10.1590/1983-40632020v5062134
41. Emer AA, Winhelmann MC, Tedesco M, Fior CS, Schafer G. Controlled release fertilizer used for the growth of *Campomanesia aurea* seedlings. *Ornam Hortic.* 2020 Mar;26(1):35-44. doi: 10.1590/2447-536X.v26i1.2020
42. Zamunér Filho AN, Venturin N, Pereira AV, Pereira EBC, Macedo RLG. Doses of controlled-release fertilizer for production of rubber tree rootstocks. *Cerne.* 2012 Jun;18(2):239-45. doi: 10.1590/S0104-77602012000200008
43. Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal.* 4. ed. Porto Alegre (RS): Artmed; 2009.
44. Malavolta E. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações.* Piracicaba (SP): Potafos; 1997.
45. Kopinga J, Van Den Burg J. Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees. *J Arboric.* 1995 Jan;21(1):17-24. doi: 10.48044/jauf.1995.004
46. Epstein E, Bloom AJ. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.* 2. ed. Londrina (PR): Planta; 2004.
47. Larcher W. A utilização dos elementos minerais. In: *Ecofisiologia Vegetal.* São Carlos (SP): Rima; 2004. p. 183-230.
48. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Comissão de Química e Fertilidade do Solo (SBCS-CQFS): *Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.* Porto Alegre (RS): SBCS; 2004.
49. Gonçalves SM, Guimaraes RJ, Carvalho JG, Botrel EP. Critical ranges of macronutrient content in leaves of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) grown in plastic pots. *Ciênc Agrotec.* 2009 May;33(3):743-52.
50. Dechen AR, Nachtigall GR. Micronutrientes. In: Fernandes MS, editor. *Nutrição mineral de plantas.* Viçosa (NG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2006. p. 327-54.
51. Furlani AMC. *Nutrição mineral.* In: Kerbauy GB, editor. *Fisiologia vegetal.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2004. p. 40-75.

52. Hernandez A, Natale W, Cazetta JO, Rozane DE, Souza HA, Romualdo LM. Influência do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de caramboleira. Rev Bras Frutic. 2010 Dec;32(4):1220-30. doi: 10.1590/S0100-29452010005000125
53. Faquin V. Nutrição Mineral de Plantas. Lavras (MG): Ed. Universidade Federal de Lavras; 2005.
54. Conceição GM, Ruggieri AC, Silva MCC, Rodrigues MS, Silva RP, Silva ER. Teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) em espécies de Poaceae de uma área de Cerrado Maranhense. Braz Geogr J. 2015 Jan;6(1):58-73.
55. Li T, Di Z, Islam E, Jiang J, Yang X. Rhizosphere characteristics of zinc hyperaccumulator *Sedum alfredii* involved in zinc accumulation. J Hazard Mater. 2011 Jan;185(2-3):818-23. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.093
56. Saboor A, Ali MA, Hussain S, El Enshasy HA, Hussain S, Ahmed N, et al. Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity. Saudi J Biol Sci. 2021 Nov;28(11):6339-51. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.06.096