Crescimento e nutrição de *Tectona grandis* após adubação com N, P e KGrowth and nutrition of *Tectona grandis* after fertilization with N, P and K**Cristiane Ramos Vieira¹, Oscarlina Lúcia dos Santos Weber², Kuang Hongyu²,
José Fernando Scaramuzza²****Resumo**

Conhecer as necessidades nutricionais para o crescimento inicial das espécies é importante para produzir mudas de qualidade a custos compatíveis. Diante disso, desenvolveu-se experimento para analisar o crescimento inicial e a qualidade nutricional da teca (*Tectona grandis* L.f., 1782) após adubação com doses de N, P₂O₅ e K₂O. As mudas foram produzidas em tubetes e transplantadas para sacolas plásticas contendo solo calcárioado e adubado com doses de N-ureia; P₂O₅ – superfosfato simples e; K₂O – cloreto e potássio, que constituíram os seguintes tratamentos: N = 0; 2,5; 5,0 e 7,5 kg m⁻³; P₂O₅ = 0; 3,0; 6,0 e 12,0 kg m⁻³; e K₂O = 0; 3,0; 6,0 e 12,0 kg m⁻³, em delineamento inteiramente casualizado. Como parâmetros foram analisados altura da parte aérea, diâmetro de colo, biomassas das folhas, do caule, da raiz e teores de macronutrientes. As doses que proporcionaram os maiores crescimentos foram 5,0 kg m⁻³ de N, 6,0 kg m⁻³ de P₂O₅ e 12,0 kg m⁻³ de K₂O.

Palavras-chave: adubação mineral, nutrição de plantas, produção de mudas, *Tectona grandis* L.f.

Abstract

Knowing the nutritional needs for the initial growth of the species is important to produce quality seedlings at compatible costs. Therefore, an experiment was carried out to analyze the initial growth and nutritional quality of teak (*Tectona grandis* L.f., 1782) after fertilization with N, P₂O₅ and K₂O doses. The seedlings were produced in tubes and transplanted to plastic bags containing calcareous soil and fertilized with N-urea; P₂O₅ - simple superphosphate e; K₂O – potassium chloride doses, which constituted the following treatments: N = 0; 2.5; 5.0 and 7.5 kg m⁻³; P₂O₅ = 0; 3.0; 6.0 and 12.0 kg m⁻³; and K₂O = 0; 3.0; 6.0 and 12.0 kg m⁻³, in a completely randomized design. As parameters, shoot height, diameter, biomass of leaves, stem, root and macronutrient contents were analyzed. The doses that gave the highest growth were 5.0 kg m⁻³ of N, 6.0 kg m⁻³ of P₂O₅ and 12.0 kg m⁻³ of K₂O.

Keywords: mineral fertilization, plant nutrition, seedlings production, *Tectona grandis* L.f.

INTRODUÇÃO

Os solos sob Cerrado são, em geral, de elevada acidez, com altos teores de alumínio (Al) trocável e baixa disponibilidade de cátions, fatores que contribuem para a fixação do fósforo (P) impedindo que seja assimilado pelas plantas. Portanto, os processos de calagem e adubação são indispensáveis em plantios nessas áreas, e/ou quando esse tipo de solo é utilizado como substrato para a produção de mudas.

A adubação é uma das etapas mais importantes na produção de mudas de espécies florestais, com destaque para N (nitrogênio), P e K (potássio) como os macronutrientes mais exigidos (Caione; LANGE; SCHONINGER, 2012) e seu fornecimento em concentrações adequadas garante, às plantas, melhores condições nutricionais de desenvolvimento. Para isso, é importante conhecer as exigências nutricionais da espécie e estabelecer a adubação apropriada (Feitosa et al., 2011), o que demanda estudos.

De acordo com Cruz et al. (2012) a utilização de doses adequadas permite otimizar a recomendação das quantidades de nutrientes, e isso influencia na qualidade da muda porque seu rendimento máximo é obtido pela escolha da dose exata (Santos et al., 2008), além de se relacionar com a produtividade e qualidade do produto final (Trazzi et al., 2013).

1. Departamento de Agronomia, Universidade de Cuiabá, UNIC. Cuiabá / MT, Brasil. E-mail: cris00986@hotmail.com

2. Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT. Cuiabá / MT, Brasil.

Diante da importância da adubação e de se estabelecer as doses adequadas para a produção de mudas, utilizou-se para o estudo a *Tectona grandis*, espécie madeireira plantada no Brasil e de pouca divulgação literária.

A *Tectona grandis* é uma espécie da família Lamiaceae que ocorre naturalmente no subcontinente indiano e no sudeste asiático. No Brasil, as maiores áreas plantadas estão no Pará, Roraima e Mato Grosso, com 70% da produção nacional (Abraf, 2013). A madeira dessa espécie pode ser empregada na construção naval, na produção de móveis finos, esquadrias, painéis, lâminas faqueadas e lambris (Coimbra et al., 2014). No aspecto nutricional, trabalhos realizados por Barroso et al. (2005) e Favare et al. (2012) indicaram que N e cálcio (Ca) são os nutrientes mais exigidos, no entanto, a falta de P e de boro (B) pode limitar a produtividade dos plantios (Moya et al., 2013). Com relação aos requerimentos nutricionais na fase de muda, Favare et al. (2012) Com relação aos requerimentos nutricionais na fase de muda, Favare et al. (2012) avaliando a elevação da saturação por bases do solo sobre o desenvolvimento da *Tectona grandis* constataram a sequência de absorção: N>Ca>K>Mg>P>S>Fe>Mn>B>Zn>Cu.

Portanto, o experimento objetivou verificar o crescimento inicial e as exigências nutricionais de mudas de *Tectona grandis* em doses de N, P₂O₅ e K₂O.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Faculdade de Agronomia e Zootecnia, da Universidade Federal de Mato Grosso, localizada no município de Cuiabá, nas coordenadas geográficas 15°36'S e 56°04'W, altitude de 200 m, sob clima tropical de savana, conforme classificação de Köppen.

A espécie estudada foi *Tectona grandis*, cujas mudas foram doadas pela KLM Florestal, situada no município de Várzea Grande – MT, nas coordenadas geográficas de 15°37'S e 56°06'W, em clima tropical de savana. A produção dessas mudas foi realizada a partir de diásporos de *Tectona grandis* submetidos à quebra de dormência, em água corrente por 24 horas. Após a quebra, foram semeados em tubetes com capacidade para 54 cm³ preenchidos com 80% de substrato comercial e 20% de vermiculita. As primeiras germinações foram observadas dez dias após a semeadura. Transcorridos mais 10 dias, realizou-se o raleamento e, 20 dias após o raleamento, todas as mudas atingiram 15 cm, tornando-se aptas ao transplante para embalagens plásticas de coloração preta com 50 cm de altura, 40 cm de circunferência e 62.800 cm³ de capacidade em volume, com furos nas laterais e na base.

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico com textura franco arenosa, coletado em área de cerrado nativo do Instituto Federal de Mato Grosso, *campus* de São Vicente da Serra. Uma amostra do solo foi seca ao ar, peneirada em malha de 2 mm e submetida à caracterização química segundo metodologia da Embrapa (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo

Table 1. Soil chemical analysis

pH	H+Al	Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	P	SB	CTC	t	V	m	MO
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹
4,39	4,22	1,03	1,0	0,50	13,56	13,9	1,53	5,75	2,56	26,5	40,2	22,0

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

A partir dos resultados da análise de solo, realizou-se o cálculo para elevar a saturação por bases a 50%. Para isso, foram utilizados 1,53 t ha⁻¹ de calcário, considerando o PRNT de 100%, e os teores de 30% de CaO e 21% de MgO do produto. O solo foi calcariado, deixado em incubação por 15 dias, e depois utilizado para o preenchimento das embalagens. Em seguida, as plantas foram transplantadas.

Após o transplante, efetuou-se a aplicação única das dosagens de adubo que constituíram os quatro tratamentos: 0; 2,5; 5,0 e 7,5 kg m⁻³ de N, utilizando ureia; 0; 3,0; 6,0 e 12,0 kg m⁻³ de P₂O₅, utilizando superfosfato simples; 0,0; 3,0; 6,0 e 12,0 kg m⁻³ de K₂O, utilizando cloreto de potássio.

Essas doses de adubos foram aplicadas diretamente ao solo em forma de coroa, sem incorporação, porém, sem deixar o adubo exposto. Cada um dos quatro tratamentos foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, com 8 repetições e uma planta por unidade amostral. Com irrigação diária para manter o solo em sua capacidade de campo. Após 15 dias do transplante iniciou-se o acompanhamento do crescimento das mudas.

As características morfológicas altura de parte aérea e diâmetro de colo foram determinados a cada 30 dias, aos 30, 60, 90 e 120 dias. A altura da parte aérea foi medida com régua graduada, desde a superfície do solo até a gema apical e o diâmetro de colo com paquímetro digital, na região de inserção entre a parte aérea e o caule. A biomassa seca foi avaliada aos 60 e 120 dias, por se tratar de uma determinação destrutiva e cujos incrementos podem não variar no mesmo período que a altura da parte aérea e o diâmetro de colo. Para isso, quatro mudas foram retiradas, seccionadas em folhas, caule e raiz. As raízes foram lavadas em água corrente e, em seguida, todo o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante e pesadas em balança semi analítica com precisão de 0,05g. O material seco **das folhas** foi moído e submetido às análises de nutrientes utilizando métodos de Malavolta et al. (1997). A saber: N total por semi-micro Kjeldahl; P por colorimetria do metavanadato; S por turbidimetria do sulfato de bário; K por fotometria de chama de emissão; Ca e Ca+Mg por quelatometria com EDTA e Mg obtido por diferença.

Os dados foram submetidos à análise de regressão após a constatação da normalidade, utilizando o programa estatístico Assistat 7.7 beta, da UFCG para obtenção da equação com posterior ajuste em planilha do Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adubação nitrogenada

Crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa

A adubação com doses crescentes de N (Figura 1) não acarretou em crescimento significativo para a altura das mudas. Nesse caso, o crescimento, entre os períodos analisados de 30 e de 120 dias, se deu na ordem de: 16 cm para 37 cm na dose de 0 kg m⁻³ de N, aumento de 57%; 14 cm para 35 cm na dose 2,5 kg m⁻³, aumento de 60%; 16 cm para 38 cm na dose de 5,0 kg m⁻³, aumento de 58%; 17 cm para 37 cm, com aumento de 46% na dose de 7,5 kg m⁻³.

Figura 1. Altura, diâmetro, biomassa de folhas, biomassa de caule e biomassa de raiz em *Tectona grandis* em função das doses de N até os 120 dias.

Figure 1. Height, diameter, leaf biomass, stem biomass and root biomass in *Tectona grandis* in function of N doses up to 120 days.

Esses resultados evidenciam a baixa responsividade da *Tectona grandis* às doses testadas de N na fase de muda, o que segundo Navroski et al. (2016) é normal, pois, espécies de crescimento mais lento necessitam de doses mais elevadas de suprimento nutricional.

Para o crescimento em diâmetro a maior média foi observada na dose 5,0 kg m⁻³ (5,3 mm) e a menor na dose 7,5 kg m⁻³ (3,9 mm), aos 90 dias. Nesse caso, o crescimento em diâmetro foi 26% maior na dose de 5,0 kg m⁻³ de N, em relação à de 7,5 kg m⁻³ e, se manteve em destaque até os 120 dias, quando as mudas atingiram média de 5,7 mm. Ajustando-se equações quadráticas aos 90 dias e aos 120 dias, observou-se que a máxima dose de N interferiu negativamente no crescimento em diâmetro, o que pode estar relacionado com as interações nutricionais existentes e que não favoreceram essa característica morfológica.

A recomendação de Xavier et al. (2009) para mudas aptas ao plantio é de 20 a 40 cm de altura e 2,0 mm de diâmetro. Considerando esses valores, a dose de 7,5 kg m⁻³ de N aos 60 dias foi a primeira que proporcionou o valor para altura, porém, no caso do diâmetro, as mudas de todos os tratamentos estariam aptas desde os 30 dias de crescimento.

As médias para altura e diâmetro estão de acordo com as observadas por Trazzi et al. (2013, 2014a), ao analisar os efeitos de esterco bovino, cama de frango, esterco de codorna, terra de subsolo e substrato comercial em mudas de *Tectona grandis*. Porém, os dados de altura no presente estudo foram superiores aos observados por Gomes et al. (2013) estudando a influência do lodo de esgoto no crescimento da *Tectona grandis*, demonstrando que a adubação disponibilizou nutrientes mais rapidamente e, portanto, favoreceu o crescimento em menor tempo.

Para a biomassa foliar ajustou-se equações quadráticas nos dois períodos. A biomassa foi de 1,1 g a 1,7 g na dose de 5,0 kg m⁻³, aumento de 35% e; de 1,0 g a 2,2 g na dose de 7,5 kg m⁻³, aumento de 54%. As maiores doses de N foram responsáveis pela maior média devido às funções do elemento na produção de aminoácidos e proteínas, que confere maior produção fotossintética e maior crescimento. Caione et al. (2012) também constataram a importância de N no incremento em massa seca da parte aérea das plantas.

Para a biomassa do caule, os maiores incrementos foram nas doses de 5,0 e de 7,5 kg m⁻³ de N, semelhante ao ocorrido na parte foliar, com aumento de 85%, entre os períodos analisados, na dose de 5,0 kg m⁻³ e, de 75% na dose de 7,5 kg m⁻³, acompanhando o crescimento em diâmetro.

Para a biomassa da raiz, a significância foi observada apenas aos 120 dias, com a maior média na dose de 5,0 kg m⁻³ de N, comprovando o efeito positivo da mesma no crescimento e na produção de biomassa das mudas de *Tectona grandis*, com incremento de 77% entre os períodos analisados, variando de 0,3 a 1,3 g pelo ajuste de equação quadrática.

Teores de nutrientes em função da adubação nitrogenada

Não se encontrou, em literatura, os teores de macronutrientes considerados adequados para a *Tectona grandis* no período de produção de mudas, sendo adotada a recomendação de Malavolta et al. (1997) para espécies florestais, para a comparação dos teores observados com o que seria ideal para a espécie estudada.

Para os teores de N (Figura 2) ajustaram-se equações quadráticas aos 60 e 120 dias; com as maiores médias para a dose de 2,5 kg m⁻³ e teores acima do adequado, que é de 12 a 35 g kg⁻¹ segundo Malavolta et al. (1997), nas doses de 2,5 e de 5,0 kg m⁻³ N, o que influenciou nos resultados das características morfológicas. Na dose de 7,5 kg m⁻³ N observou-se redução no teor de N nas mudas, o que pode indicar interação negativa, que influenciou no teor do elemento e comprometeu os resultados morfológicos na dose avaliada. Em geral, os teores de N foram superiores aos encontrados por Favare et al. (2012) entre 17 e 20 g kg⁻¹, Trazzi et al. (2014a) entre 10,5 e 14,0 g kg⁻¹ e Trazzi et al. (2014b) entre 7,0 e 13,3 g kg⁻¹ em mudas de *Tectona grandis*.

Quanto ao P, as análises realizadas aos 60 dias demonstraram teores adequados segundo Malavolta et al. (1997), com redução aos 120 dias, quando se ajustou equação quadrática e a maior média foi no tratamento sem adubo. O que também auxilia a explicar o crescimento nesse tratamento e a maior demanda de P nos primeiros 60 dias de crescimento. Nesse caso, os teores de P foram semelhantes aos observados por Trazzi et al. (2014a, b), porém, superiores aos observados por Favare et al. (2012) em *Tectona grandis*.

Os teores de K nas mudas aumentaram aos 120 dias, devido à maior demanda que ocorreu após os 60 dias de idade de crescimento das plantas, conforme pode ser verificado na equação linear

Figura 2. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de mudas de *Tectona grandis* em função das doses de N até os 120 dias.

Figure 2. Contents of N, P, K, Ca, Mg and S on leaf of *Tectona grandis* seedlings in function of N doses up to 120 days.

(Figura 2) decrescente e a maior média na dose de 0 kg m^{-3} de N. O mesmo ocorreu para o Mg, com aumento aos 120 dias, porém, tanto aos 60 quanto aos 120 dias, os teores ficaram acima do adequado, contribuindo para teores de K abaixo do ideal, que segundo Malavolta et al. (1997) deve ser de 10 a 15 g kg^{-1} , já que são elementos antagônicos.

Os teores de Ca foram semelhantes entre os períodos e dentro da faixa de Malavolta et al. (1997) de 3,0 a $12,0 \text{ g kg}^{-1}$, conforme se verifica na equação linear decrescente aos 60 dias e quadrática aos 120 dias (Figura 2), demonstrando a necessidade de Ca no período de crescimento em viveiro.

Os teores de S nas mudas foram reduzidos no período de 120 dias, indicando maior requerimento até os 60 dias de crescimento, exceto para a dose de 5 kg m^{-3} N e interação positiva entre N x S (Figura 2). Os teores foram superiores aos obtidos por Favare et al. (2012) e Trazzi et al. (2014 a), aos 60 e 120 dias. Porém, no presente trabalho, apenas aos 60 dias se ajustou equação quadrática.

Portanto, as doses de N influenciaram no crescimento em diâmetro de colo e na produção de massa seca nas mudas porque as condições nutricionais foram favoráveis, comprovando que essa adubação deve ser utilizada no processo de produção de mudas para garantir qualidade às mesmas.

Adubação fosfatada

Crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa

O crescimento em altura (Figura 3) foi estatisticamente semelhante entre os tratamentos, com tendência de aumento entre os períodos de 30 dias e de 120 dias de idade, sendo: 21 cm na dose de 0 kg m^{-3} de P_2O_5 com aumento de 57% e de 25 cm em $6,0 \text{ kg m}^{-3}$ de P_2O_5 com aumento de 67%.

O crescimento em diâmetro de colo foi influenciado aos 120 dias de idade das mudas, conforme a equação quadrática apresentada na Figura 3 e as maiores médias foram verificadas na dose de $6,0 \text{ kg m}^{-3}$ P_2O_5 , que também possibilitou o maior incremento entre o período de 30 a 120 dias de

Figura 3. Altura, diâmetro, biomassa de folhas, biomassa de caule e biomassa de raiz em *Tectona grandis* em função das doses de P_2O_5 até os 120 dias.

Figure 3. Height, diameter, leaf biomass, stem biomass and root biomass in *Tectona grandis* in function of P_2O_5 doses up to 120 days.

idade, sendo: 3,4 mm, com aumento de 42%, corroborando com os resultados de crescimento em altura. Esses resultados remetem ao crescimento adequado, principalmente quando o objetivo é produzir mudas em larga escala com a finalidade de obter florestas homogêneas.

Considerando a recomendação de Xavier et al. (2009), as mudas desse experimento estariam aptas para o plantio aos 60 dias de idade para os tratamentos 3,0 e de 6,0 kg m^{-3} de P_2O_5 , quando se considera a altura como característica desejável e; desde os 30 dias, em todos os tratamentos, quando se considera o diâmetro. Portanto, a adubação acelerou o crescimento das mudas de *Tectona grandis*, o que pode estar relacionado com as funções do P no processo fotossintético e na produção de adenosina trifosfatada (ATP).

A produção de biomassa das folhas foi significativa apenas aos 120 dias, pelo que pode ser observado na Figura 3, sendo que os maiores teores foram verificados sob as doses de 3,0 e em 12,0 kg m^{-3} de P_2O_5 , com incremento de 82% e 81%, respectivamente, em relação ao tratamento sem adubação. Esses resultados demonstram a importância da fertilização para o crescimento da *Tectona grandis* e o requerimento em P até os 120 dias, explicado pela importância do elemento no processo fotossintético e, portanto, imprescindível para a produção de massa foliar.

Para a produção de biomassa do caule não houve diferença entre os tratamentos nos períodos analisados, ao contrário da produção de biomassa da raiz que foi influenciada principalmente aos 120 dias (Figura 3), sendo as maiores médias obtidas sob as doses 12,0 kg m^{-3} e 3,0 kg m^{-3} P_2O_5 . Nesses casos, os incrementos foram de 80% e de 75%, respectivamente, em relação à testemunha. Esses resultados são importantes porque, de acordo com Stahl et al. (2013), a geometria das raízes influencia na aquisição de nutrientes, especialmente daqueles com baixa mobilidade no solo, como é o caso do P, contribuindo para o crescimento em altura.

Portanto, a adubação fosfatada influenciou positivamente no crescimento em diâmetro e na produção de biomassa das mudas de *Tectona grandis*, principalmente quando se usou as doses de 6,0 e de 12,0 kg m⁻³ P₂O₅.

Teores de nutrientes em função da adubação fosfatada

Os teores de N (Figura 4) foram significativos apenas aos 60 dias, ajustando-se equação quadrática, com a maior média sob a dose de 12 kg m⁻³ P₂O₅, o que explica o crescimento e a produção de massa seca das mudas sob essa dose. Esses resultados foram superiores aos encontrados por Favare et al. (2012), que obtiveram teores entre 17 e 20 g kg⁻¹; Trazzi et al. (2014a) com teores entre 10,5 e 14,0 g kg⁻¹ e; Trazzi et al. (2014b) com teores entre 7,0 e 13,3 g kg⁻¹; todos em estudos com *Tectona grandis*.

Figura 4. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de mudas de *Tectona grandis* em função das doses de P₂O₅ até os 120 dias.

Figure 4. Contents of N, P, K, Ca, Mg and S on leaf of *Tectona grandis* seedlings in function of P₂O₅ doses up to 120 days.

Os teores de P obtidos foram maiores que os recomendados por Malavolta et al. (1997), de 1,0 a 2,3 g kg⁻¹, aos 60 dias. Porém, permanecendo dentro do adequado nas doses de 0, 6,0 e 12,0 kg m⁻³ aos 120 dias (Figura 4). Considerando o presente trabalho, os teores de P obtidos foram semelhantes aos observados por Trazzi et al. (2014a) e Trazzi et al. (2014b) e, superiores aos observados por Favare et al. (2012) também em mudas de *Tectona grandis*.

Os teores de K foram significativos apenas aos 60 dias (Figura 4) e com a maior média sob a dose de 12 kg m⁻³ P₂O₅, com teor adequado, se comparado ao recomendado por Malavolta et al. (1997).

Os teores de Ca foram semelhantes nos dois períodos, não possibilitando o ajuste de equação, porém, estiveram dentro da faixa de 3,0 a 12,0 g kg⁻¹ recomendada por Malavolta et al. (1997). Esses teores têm relação com os níveis P, que favorecem o acúmulo de Ca nas folhas, e suas funções na

fotossíntese, divisão celular, movimentos citoplasmáticos e aumento do volume celular conforme cita Malavolta et al. (1997). Para o Mg também não se ajustou equação, porém, os teores foram superiores aos observados por Favare et al. (2012), que obtiveram entre 0,88 e 5,08 g kg⁻¹ e, Trazzi et al. (2014b) com médias entre 1,7 e 4,9 g kg⁻¹.

Os teores de S decresceram entre os períodos de 60 a 120 dias, com ajuste de equação quadrática aos 120 dias (Figura 4) e a maior média no tratamento sem adubo. Porém, aos 60 dias de idade, as mudas sob todos os tratamentos com adubação apresentaram teores acima do adequado quando comparados à Malavolta et al. (1997) e superiores aos obtidos por Favare et al. (2012) e Trazzi et al. (2014a), que obtiveram teores entre 1,0 e 1,3 g kg⁻¹.

Adubação potássica

Crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa

O potássio não favoreceu o crescimento em altura (Figura 5), porém, observou-se tendência de crescimento nas mudas sob as doses de 6,0 kgm⁻³ de K₂O, correspondendo a 64% e, de 12,0 kgm⁻³ de K₂O, correspondente a 61%.

Figura 5. Altura, diâmetro, biomassa de folhas, caule e raiz em *Tectona grandis* em função das doses de K₂O até os 120 dias.

Figure 5. Height, diameter, leaf biomass, stem biomass and root biomass in *Tectona grandis* in function of K₂O doses up to 120 days.

Para o crescimento em diâmetro, as doses de K_2O foram significativas nos períodos de 30 a 120 dias (Figura 5). As maiores médias foram observadas na dose de $12,0 \text{ kg m}^{-3} K_2O$, porém, o maior incremento se deu na dose de $6,0 \text{ kg m}^{-3}$, com aumento de 51%. Segundo Gomes et al. (2013), Trazzi et al. (2014a, b), isso ocorre porque o K contribui para o crescimento em diâmetro nas mudas devido à sua função no engrossamento do caule.

Considerando apenas o diâmetro como critério para plantio, as mudas estariam aptas desde os 30 dias, no entanto, quando também se considera a altura, verifica-se que o transplante só poderia ocorrer aos 90 dias, com maior requerimento de K após 60 dias.

As médias para a biomassa de folhas e de caule não foram significativas nos tratamentos sob doses de K_2O , porém, houve tendência de aumento de produção nos tratamentos sob as doses de $3,0$ e de $12,0 \text{ kg m}^{-3}$ aos 60 e 120 dias. No entanto, o K pode ter auxiliado na melhora da fertilidade do solo para manter o desenvolvimento foliar das mudas, porque está ligado à ativação de enzimas, na manutenção do turgor das células e na resistência da planta.

A produção de biomassa da raiz foi maior aos 120 dias de idade das mudas, porém, ajustaram-se equações, quadrática para os 60 dias e linear para 120 dias (Figura 5). As maiores médias em biomassa da raiz foram observadas nas doses de $3,0$ e de $6,0 \text{ kg m}^{-3} K_2O$ aos 60 dias e, em $12,0 \text{ kg m}^{-3}$ de K_2O aos 120 dias.

Teores de nutrientes em função da adubação potássica

Os teores de N nas mudas (Figura 6) foram maiores aos 60 dias, corroborando com os maiores requerimentos nesse período. Esses teores foram superiores aos encontrados por Favare et al. (2012), entre 17 e 20 g kg^{-1} ; Trazzi et al. (2014a) entre $10,5$ e $14,0 \text{ g kg}^{-1}$ e; Trazzi et al. (2014b) entre

Figura 6. Teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de mudas de *Tectona grandis* em função das doses de K_2O até os 120 dias.

Figure 6. Contents of N, P, K, Ca, Mg and S on leaf of *Tectona grandis* seedlings in function of K_2O doses up to 120 days.

7,0 e 13,3 g kg⁻¹ também em estudos com *Tectona grandis*. Considerando Malavolta et al. (1997), foram adequados aos 60 e aos 120 dias. Nesse caso, o ajuste de equação foi realizado apenas aos 60 dias, período em que a maior média foi obtida quando não se usou adubo. Esses resultados podem estar relacionados com a fertilidade natural do solo utilizado para preenchimento dos recipientes. O que explicaria o crescimento em altura e a biomassa do caule nesse tratamento.

Para os teores de P, Ca e Mg não se observou significância. No caso do P as maiores médias foram verificadas aos 60 dias, período de maior requerimento pela espécie, além disso, os teores foram semelhantes aos observados por Trazzi et al. (2014a, b) e, superiores aos observados por Favare et al. (2012) em estudos com *Tectona grandis*.

Os teores de Mg estiveram acima da faixa adequada (1,5 a 5,0 g kg⁻¹) considerando Malavolta et al. (1997), com aumento no período de 120 dias e, foram superiores aos observados por Favare et al. (2012), entre 0,88 e 5,08 g kg⁻¹ e; Trazzi et al. (2014b) de 1,7 a 4,9 g kg⁻¹. Isso foi importante porque o Mg participa da clorofila e, portanto, está relacionado com o processo fotossintético.

No caso do K, os teores ficaram dentro da faixa adequada em todas as doses e períodos, considerando recomendação de Malavolta et al. (1997), ajustando-se equação quadrática aos 60 dias e linear aos 120 dias. Nesse caso, a maior média foi observada nas mudas sob a dose de 6,0 kg m⁻³ K₂O aos 60 dias e, na dose de 12,0 kg m⁻³ K₂O aos 120 dias, o que explica a biomassa foliar e da raiz e o crescimento em diâmetro sob estas doses.

Para os teores de S, observou-se significância apenas aos 60 dias (Figura 6), com ajuste de equação linear crescente e a maior média sob as doses de 3,0 e de 6,0 kg m⁻³ K₂O. Aos 120 dias, a tendência de aumento foi sob a dose de 12 kg m⁻³ de K₂O, favorecendo o crescimento porque o S tem função na produção de aminoácidos e de proteínas nas plantas.

Portanto, os teores de macronutrientes proporcionaram condições nutricionais adequadas ao crescimento e à produção de massa de mudas de *Tectona grandis*.

CONCLUSÕES

O crescimento inicial e a qualidade nutricional de mudas de *Tectona grandis* foram favorecidos após adubação com diferentes doses de N, P₂O₅ e K₂O.

A dose de 5,0 kg m⁻³ de N garantiu maiores incrementos de diâmetro e biomassas de folhas, caule e raiz.

As doses de 6,0 e de 12 kg m⁻³ de P₂O₅ garantiram maiores incrementos em diâmetro e biomassas de folhas e de raízes, respectivamente.

A dose de 12,0 kg m⁻³ de K₂O garantiu maiores incrementos em biomassas de folhas, de raízes e no crescimento em diâmetro.

O crescimento e a produção de biomassa nas doses citadas estiveram relacionados com os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, que foram favorecidos pela adubação.

Dessa forma, indica-se que a adubação de *Tectona grandis* até os 120 dias de idade deva ser realizada com 5,0 kg m⁻³ de N, 12,0 kg m⁻³ de P₂O₅ e 12,0 kg m⁻³ de K₂O. No entanto, reforçando a indicação de estudos com a aplicação dessas doses em interação, para verificar a compatibilidade das mesmas quando aplicadas conjuntamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF** 2013 - ano base 2012 / ABRAF. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012.

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005.

COIMBRA, E. C.; VAZQUEZ, G. H.; NOGUEIRA, T. O. Superação de dormência e o uso de fungicida em diásporos de teca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 1281-1286, 2014.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J. C. L. Produção de mudas de canafístula cultivadas em Latossolo vermelho amarelo álico em resposta a macronutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 87-98, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

FAVARE, L. G.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C. Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um Latossolo de textura média. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 693-702, 2012.

FEITOSA, D. G.; MALTONNI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R.; PAIANO, M. O. Crescimento de mudas de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 401-411, 2011.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MOYA, J. F.; MURILLO, R.; PORTUGUEZ, E.; FALLAS, J. L.; RIOS, V.; KOTTMAN, F.; VERJANS, J. M.; MATA, R.; ALVARADO, A. Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in Central America. **Forest Systems** v. 22, n. 1, p. 123-133, 2013.

NAVROSKI, M. C.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; FRIGOTTO, T.; PEREIRA, M. O.; GALVANI, L. V. Procedência e adubação no crescimento inicial de mudas de cedro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 17-24, 2016.

SANTOS, R. A.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. Z.; SILVA, W. G. Adubação fosfatada para a produção de muda de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 3, p. 453-458, 2008.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M.; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 287-295, 2013.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; CUSATIS, A. C.; HIGA, A. R. Crescimento e nutrição de mudas de *Tectona grandis* produzidas em substratos orgânicos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 49-56, 2014a.

TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2014b.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 401-409, 2013.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. Viçosa: UFV, 2009. 272 p.

Recebido em: 10/02/2018

Aceito em: 05/06/2018