

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA
IMPLANTAÇÃO DE *Khaya senegalensis* A.Juss.**

**Rodrigo Tenório de Vasconcelos
Engenheiro Agrônomo**

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA
IMPLANTAÇÃO DE *Khaya senegalensis* A.Juss.**

Rodrigo Tenório de Vasconcelos

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

2016

V331a Vasconcelos, Rodrigo Tenório de
Adubação fosfatada e potássica na implantação de *Khaya senegalensis* A.Juss / Rodrigo Tenório de Vasconcelos. – – Jaboticabal, 2016
x, 65 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Sérgio Valiengo Valeri

Banca examinadora: Rinaldo Cesar de Paula, Mara Cristina Pessoa da Cruz, Paulo Henrique Müller da Silva, Iraê Amaral Guerrini
Bibliografia

1. Argissolo. 2. Fertilização florestal. 3. Fisiologia. 4. Mogno-africano. 5. Nutrição. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.81:582.746.41

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA IMPLANTAÇÃO DE *Khaya senegalensis* A.Juss.

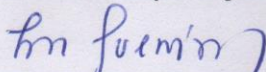
AUTOR: RODRIGO TENÓRIO DE VASCONCELOS

ORIENTADOR: SERGIO VALIENGO VALERI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



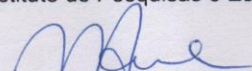
Prof. Dr. SERGIO VALIENGO VALERI
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



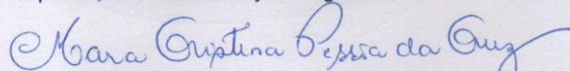
Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI
Departamento de Solos e Recursos Ambientais / FCA/UNESP - Botucatu



Pesquisador PAULO HENRIQUE MULLER DA SILVA
IPEF / Instituto de Pesquisas e Estudo Florestais - Piracicaba/SP



Prof. Dr. RINALDO CÉSAR DE PAULA
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 24 de outubro de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODRIGO TENÓRIO DE VASCONCELOS - filho de Lorisval Tenório de Vasconcelos e Dolores Aparecida Vitória de Vasconcelos, nascido em 09 de abril de 1977 na cidade de Jaboticabal (SP), formou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Lavras (MG) em 2000. Obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-FCAV da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em 2013. Ainda em 2013, iniciou o doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na FCAV/UNESP. As atividades e trabalhos desenvolvidos pelo autor são relacionadas à área de Silvicultura, destacando-se as publicações sobre produção de mudas, nutrição e adubação florestal, com eucalipto (*Corymbia citriodora*), guanandi (*Calophyllum brasiliense*) e mogno-africano (*Khaya senegalensis*).

Aos meus queridos pais Lorisval Tenório de Vasconcelos e Dolores Aparecida Vitória de Vasconcelos, que com dedicação, humanismo, cuidado e doação incondicional do amor, sangue e suor de trabalho, despertaram em minha personalidade, desde a minha infância, a sede pelo conhecimento e o reconhecimento de sua importância em minha vida.

Aos meus irmãos Maico e Paula Tenório de Vasconcelos por não medirem esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Aos amigos, familiares, professores e todos aqueles que cruzaram minha vida, participando de alguma forma na construção e realização deste tão desejado sonho, ingrediente fundamental para minha felicidade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que sempre esteve ao meu lado e me concedeu a realização deste trabalho.

Aos meus avós, Genoveva Branco de Vasconcelos, Manoel Tenório de Vasconcelos (in memoriam), Paulo Vitório Rodrigues (in memoriam) e Conceição Palma Vitório, por terem sido a base sólida deste momento.

Aos meus tios, primos e demais familiares, por terem acreditado e fornecido condições para que eu concluísse mais uma etapa desta vida.

À minha namorada, Simone Cristina Defini, e à sua família, pela paciência e companheirismo, amor e atenção nas horas difíceis de construção desse trabalho.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri, pela dedicação, amizade, carinho, esperança, humildade, conhecimento e respeito, com o que me conduziu desde o mestrado até o doutorado, me trazendo a calma necessária para que eu pudesse transpor os momentos difíceis.

À Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, ao Prof. Dr. Rinaldo César de Paula e ao Prof. Dr. Antonio Baldo Martins, pelas contribuições, e por terem aceitado participar da banca examinadora do exame de qualificação.

A todos os queridos professores da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, por acreditarem em mim e por serem tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta tese.

Ao amigo, Professor da USP, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Prof. Dr. Gutemberg de Melo Rocha, por fazer parte da minha família.

Aos amigos da FCAV/UNESP: Bruna Aparecida Pereira Perez, Mauro Silva e Roberto Carlos Costa Costa, que me ajudaram em diversas etapas deste trabalho.

Aos parceiros e amigos Sr. João Bertate (in memoriam), seus filhos Sr. Paulo Aparecido Bertate, Sr. Renato Bertate e seu neto Murilo Bertate, proprietários da Fazenda São Gabriel, pela parceria, pelo suporte, amizade e confiança em nos receber.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1 Considerações gerais.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
1.2.1 <i>Khaya senegalensis</i> A.Juss.....	2
1.2.2 Fósforo	6
1.2.3 Potássio.....	9
1.3 REFERÊNCIAS.....	11
CAPÍTULO 2 Fertilização fosfatada na implantação de <i>Khaya senegalensis</i> A.Juss	16
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.2.1 Área de estudo	18
2.2.2 Histórico e preparo da área.....	21
2.2.3 Tratamento e delineamento experimental	22
2.2.4 Produção de mudas, plantio e condução do experimento.....	22
2.2.5 Avaliações e análises estatísticas	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
2.4 CONCLUSÕES	34
2.5 REFERÊNCIAS.....	34
CAPÍTULO 3 Fertilização potássica na implantação de <i>Khaya senegalensis</i> A.Juss	41
3.1 INTRODUÇÃO	42
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.2.1 Área de estudo	43
3.2.2 Histórico e preparo da área.....	46
3.2.3 Tratamento e delineamento experimental	47
3.2.4 Produção de mudas, plantio e condução do experimento.....	47
3.2.5 Avaliações e análises estatísticas	49
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.4 CONCLUSÕES	59
3.5 REFERÊNCIAS.....	60

ADUBAÇÃO FOSFATADA E POTÁSSICA NA IMPLANTAÇÃO DE *Khaya senegalensis* A.JUSS

RESUMO – A fertilização na implantação de florestas comerciais de mogno-africano pode promover maior crescimento inicial das plantas e garantir rápido estabelecimento do povoamento. No entanto, os plantios comerciais com *Khaya senegalensis* são recentes e poucas pesquisas sobre fertilização em condições de campo foram realizadas no Brasil. Objetivou-se, com este trabalho, verificar os efeitos da aplicação de doses de fósforo e potássio no crescimento, na concentração de macronutrientes nas folhas, na fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água em plantas de *Khaya senegalensis* na fase de implantação. Para isso, foram conduzidos dois experimentos em campo em Argissolo Vermelho-Amarelo, um de fósforo instalado em janeiro de 2014 e um de potássio em março de 2014, ambos conduzidos por 24 meses. No experimento de fósforo, foram aplicados 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e no experimento de potássio foram aplicados, 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O em três etapas, plantio, três e seis meses de idade. As mudas foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m e o delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com cinco repetições no experimento de fósforo e quatro repetições no experimento de potássio. Foram feitas avaliações de altura e diâmetro do caule das plantas aos 6, 12, 18 e 24 meses após o plantio no experimento de fósforo e aos 12, 18 e 24 meses após o plantio no experimento de potássio. Aos 12 meses, foi determinada a concentração de macronutrientes nas folhas e trocas gasosas das plantas em ambos experimentos. A fertilização fosfatada promoveu maior crescimento das plantas no período de um a dois anos de idade, promovendo aumento linear de altura e diâmetro à altura do peito com o aumento das doses de fósforo até a dose máxima de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. *Khaya senegalensis* foi pouco exigente em potássio na fase inicial de crescimento.

Palavras-Chave: Argissolo, fertilização florestal, fisiologia, mogno-africano, nutrição.

PHOSPHORUS AND POTASSIUM FERTILIZATION IN *Khaya senegalensis* A.JUSS IMPLANTATION

ABSTRACT – Fertilization in the implantation of mahogany african commercial forests can promote higher initial plant growth and ensure rapid establishment of the stand. However, there are recent commercial plantations with the species and little research on fertilization under field conditions were carried out in Brazil. The objective of this study was to verify the effects of the application of phosphorus and potassium on growth, concentration of macronutrients in the leaves, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and efficiency of water use in *Khaya senegalensis* plants in implantation phase. For this, two experiments were conducted in the field on red yellow ultisol, one of phosphorus installed in january 2014 and one of potassium in march 2014, both conducted for 24 months. Phosphorus experiment were applied 0, 30, 60, 90, and 120 kg ha⁻¹ P₂O₅ in planting and potassium experiment were applied, 0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹ K₂O in three stages, planting, three and six months of age. The seedlings were planted at a spacing of 3 x 2 m and the experimental design was randomized blocks, with five repetitions in the phosphorous experiment and four replications in potassium experiment. Avaliations were made of height and stem diameter of the plants at 6, 12, 18 and 24 months after the phosphorous experiment planting and at 12, 18 and 24 months after planting potassium experiment. At 12 months, it was determined the concentration of nutrients in the leaves and gas exchange of plants in both experiments. Phosphate fertilization promoted greater growth of the plants in the period of one to two years of age, promoting a linear increase in height and diameter at breast height with the increase of phosphorus doses to the maximum dose of 120 kg ha⁻¹ P₂O₅. *Khaya senegalensis* was undemanding in potassium fertilization in the initial phase of growth.

Keywords: Ultisol, forest fertilization, physiology, african mahogany, nutrition.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

A família Meliaceae, da qual *Khaya senegalensis* faz parte, é uma das famílias de plantas mais importantes do mundo, pois possui gêneros que fornecem madeiras valiosas, como os gêneros *Cedrela* e *Swietenia* na América e *Toona* e *Khaya*, típicos da região paleotropical que inclui a Austrália, a África e a Ásia (CHALMERS et al., 1994).

Khaya senegalensis é conhecida no Brasil como mogno-africano porque apresenta madeira de qualidade e de características fisionômicas semelhantes ao mogno-brasileiro *Swietenia macrophylla* King (LAMPRECHT, 1990). A espécie tem sua ocorrência natural registrada nos seguintes países: Camarões, Chade, Costa do Marfim, Guiné Equatorial, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, República Central Africana, Mali, Nigéria, Níger, Senegal, Sudão, Serra Leoa, Togo e Uganda. É encontrada de forma exótica na Austrália, Cuba, Índia, Indonésia, Porto Rico, Singapura, África do Sul, Vietnã e Brasil (ORWA et al., 2009).

Plantios comerciais de *K. senegalensis* na região de ocorrência natural não são possíveis devido ao ataque da broca *Hypsipyla robusta*, que provoca bifurcação no caule da árvore. Porém, onde é introduzida, a espécie cresce na ausência da *H. robusta* (ARNOLD et al. 2004) e ainda tem apresentado resistência, por não preferência, a *Hypsipyla grandella* Zeller, outra broca do ponteiro, que ataca o mogno-brasileiro no continente americano (PINHEIRO et al., 2011).

Sua madeira é muito valorizada para usos em marcenarias, carpintarias, construção de móveis, decorações, vagões, pisos, laminados, brinquedos, utensílios domésticos, entre outras utilidades (FAO, 1986; LAMPRECHT, 1990; NIKIEMA; PASTERNAK, 2008; ORWA et al., 2009). A qualidade da sua madeira tem atraído investidores e, segundo informação da Associação Brasileira de Plantadores de Mogno Africano, no Brasil existem hoje mais de 10.000 hectares cultivados, com idades de 1 a 7 anos (ABPMA, 2016).

Pela recente expansão dos plantios comerciais provocada pela diminuição das reservas naturais de madeira de qualidade, pesquisas sobre nutrição e

fertilização com mognos-africanos ainda estão no início, e o setor produtivo está carente de informações científicas que embasem a tomada de decisões dos plantios comerciais (PINHEIRO et al., 2011).

Dentre as pesquisas necessárias, as de nutrição por meio de fertilização fosfatada e potássica são de grande importância. Deficiência de fósforo limita o crescimento desde os estádios iniciais da plântula, e dependendo da severidade, continua até a fase adulta, pois o nutriente é presente em componentes estruturais das células (GATIBONI, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004). O potássio também pode limitar o crescimento, pois apesar de não apresentar função estrutural nas células, age na ativação de enzimas e no controle da abertura e fechamento dos estômatos (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Avaliações preliminares, por meio de levantamentos de plantios comerciais jovens de *K. senegalensis* na Austrália, indicaram deficiências de fósforo e potássio em plantas cultivadas, sendo observadas respostas positivas no crescimento de *K. senegalensis* com aplicações de adubações fosfatadas e potássicas (BEVEGE et al., 2006). Esses resultados preliminares necessitam ser confirmados por estudos científicos que determinem os níveis críticos de nutrientes no solo e as doses adequadas de fertilizantes para garantir a produtividade dos plantios comerciais de *K. senegalensis* (NIKLES et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de fósforo e potássio no crescimento, concentração de macronutrientes nas folhas e nas trocas gasosas de *K. senegalensis* na fase de implantação.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 *Khaya senegalensis* A.Juss.

Khaya senegalensis é nativa da África (Figura 1) e ocorre em uma faixa paralela à linha do Equador entre 15 e 18° N (LAMPRECHT, 1990), que se estende do oceano Atlântico ao Índico, compreendendo o Senegal, sul do Sudão, norte dos Camarões e norte da Uganda (FAO, 1986; JOKER; GAMÉNÉ, 2012). A espécie tem sua ocorrência natural registrada nos seguintes países: Camarões, República

Centro-Africana, Chade, Costa do Marfim, Guiné Equatorial, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Benin, Mali, Nigéria, Níger, Senegal, Sudão, Serra Leoa, Togo, Mauritânia e Uganda. Foram encontradas espécimes de *K. senegalensis*, de forma introduzida na Austrália, em Cuba, na Índia, Indonésia, Porto Rico, Singapura, África do Sul, Vietnã (NICKLES et al., 2008; ORWA et al., 2009;) e Brasil (PINHEIRO et al. 2011).



Figura 1. Região de ocorrência natural aproximada de *Khaya senegalensis* no continente africano. Os números, junto a 11 nomes dos 19 países de ocorrência natural, representam as procedências dos propágulos usados em experimentos na Austrália (NICKLES et al., 2008).

Na região de ocorrência natural, *K. senegalensis* é encontrada em altitudes que variam entre 0 a 1.800 m e precipitação entre 700 e 1.750 mm por ano, onde a estação seca dura de 4 a 7 meses, sendo considerada a espécie mais resistente à seca do gênero *Khaya* (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). A grande faixa de ocorrência natural é uma das características mais promissoras de *K. senegalensis*. Sua procedência abrange matas de galeria de solos férteis até savanas mais secas com solos lateríticos e pedregosos (ORWA et al., 2009), podendo ser usada como característica de adaptação genética e fisiológica visando cultivo comercial da espécie em diferentes regiões e países (NIKLES et al., 2008).

A exploração da árvore nativa é predatória. Na região de ocorrência, são cortados os indivíduos que apresentam as melhores características para a indústria madeireira, o que leva a redução da variabilidade genética da espécie, através de uma seleção negativa (FAO, 1986; JOKER; GAMÉNÉ, 2012). Como consequência,

é descrita como espécie vulnerável na lista vermelha de espécies ameaçadas, elaborada pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2012).

No comércio madeireiro, a espécie é conhecida como mogno-africano (Brasil) acajou de senegal, acajou de caïlcedrat e acajou d'afrique (França), dry zone mahogany (Inglaterra), caoba africana e caoba de Senegal (Espanha e Cuba), afrikanisches mahogany (Alemanha). Em países africanos é conhecida como bissilon (Guiné Bissau), kahi (Guiné), khay (Senegal) no dialeto wolof (PINHEIRO et al., 2011).

K. senegalensis possui o maior porte dentre as árvores da savana. É uma árvore decídua que atinge de 15 a 20 m de altura e pode chegar a até 35 m de altura e diâmetro a altura do peito (DAP) de até 100 cm, com fuste sem ramificações (FAO, 1986; LAMPRECHT, 1990; JOKER; GAMÉNÉ, 2012). A espécie possui casca cinzenta ou marrom avermelhada e copa ampla, arredondada e densa. As folhas são compostas, paripinadas, com ráquis de 20 cm contendo de 3 a 6 pares de folíolos de 7 a 11 cm de comprimento e 3 a 5 cm de largura, de cor verde brilhante na face superior e cinzenta na inferior. As flores são pequenas e brancas, unissexuais, numerosas, dispostas em panículas longo-pedunculadas. O período de floração ocorre pouco antes da estação seca, de dezembro a abril e as flores são polinizadas por insetos (NIKIEMA; PASTERNAK, 2008; LAMPRECHT, 1990). Os frutos são acinzentados, constituídos por cápsulas lenhosas e globulares, geralmente com 5 ou 6 cm de diâmetro. Abrem-se em quatro valvas na maturação, a qual ocorre em épocas distintas de acordo com o local em Guiné ocorre de fevereiro a julho, Costa do Marfim de janeiro a abril e Tanzânia de janeiro a março. A produção de sementes ocorre a partir de 15-25 anos de idade e a dispersão é pelo vento (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). As sementes são ortodoxas e devem ser armazenadas em locais de baixa umidade (NIKIEMA; PASTERNAK, 2008).

A madeira do mogno-africano é dura, densa e durável (LAMPRECHT, 1990). Segundo Joker e Gaméné (2014), a madeira de *K. senegalensis* possui densidade média , que varia de 0,60 a 0,85 g cm⁻³, com alburno cor de canela e cerne vermelho-acastanhado escuro. É moderadamente resistente ao ataque de fungos, insetos e cupins (ORWA et al., 2009). Entretanto, de acordo com FAO (1986), o alburno é susceptível ao ataque de besouros dos gêneros *Lyctus* e *Longhorn*.

A madeira do mogno-africano é muito valorizada para usos na marcenaria e carpintaria para a construção de móveis, decoração, vagões, pisos, laminados, brinquedos, utensílios domésticos, entre outras utilidades (FAO, 1986; LAMPRECHT, 1990; NIKIEMA; PASTERNAK, 2008; ORWA et al., 2009). Além da madeira, a espécie também é valorizada pelo uso de suas outras partes, como, por exemplo, o uso de suas folhas para a forragem de animais (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). No entanto, o valor nutritivo das folhas é baixo, portanto é apenas usada nos períodos mais secos em que uma forragem de melhor qualidade não está disponível, ou associada com folhas de outras espécies de valor nutritivo mais elevado (JOKER; GAMÉNÉ, 2012; NIKIEMA; PASTERNAK, 2008).

O extrato de sua casca é usado para a prevenção e tratamento de doenças estomacais, anemia, dor de cabeça e anti-helmínticos (OFORI et al., 2011). Além disso, o extrato da casca pode ser aplicado externamente no tratamento de doenças de pele como sarnas, feridas, úlceras e furúnculos (NIKIEMA; PASTERNAK, 2008). Em animais, tem função anti-helmíntica e é usada no tratamento de úlcera e determinadas doenças que atingem cavalos, camelos e jumentos (OFORI et al., 2011).

Em estudos sobre a atividade antimicrobiana e fitoquímica das raízes de *K. senegalensis*, Idu e Igeleke (2012) verificaram que essa espécie possui substâncias fitoquímicas essenciais à indústria farmacêutica e alimentícia, além de apresentar propriedades antimicrobianas para todas as bactérias testadas (*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Penicillium notatum* e *Aspergillus niger*).

O óleo da semente é usado para o tratamento de gripe e reumatismo (OFORI et al., 2011), além de ser usado na culinária na África Ocidental (JOKER; GAMÉNÉ, 2012).

Esses importantes usos comerciais, aliado ao alto preço da madeira no mercado internacional, tem incentivado protocolos para multiplicação comercial da espécie por meio de técnicas de propagação vegetativa (HUNG; TRUEMAN, 2011; KY-DEMBELE et al. 2011; VASCONCELOS et al., 2016).

Apesar de ser uma espécie comercial promissora, a atratividade por plantios comerciais de *K. senegalensis* é recente, estando a planta ainda em fase de

domesticação (NIKLES et al., 2008). Estudos sobre nutrição, genética, procedência, resistência ou controle de pragas e doenças, produtividade, qualidade e tecnologia da madeira se encontram em fase inicial e carentes de pesquisas (PINHEIRO et al. 2011).

1.2.2 Fósforo

De acordo com Gatiboni (2003), o fósforo é um dos dezessete elementos essenciais para a sobrevivência das plantas, estando presente em componentes estruturais das células, como ácidos nucleicos e fosfolípidos das biomembranas, e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como o ATP (adenosina trifosfato). É um dos nutrientes mais usados na adubação em solos brasileiros e pode apresentar interação com elementos como ferro, alumínio e cálcio em solos alcalinos, o que pode acarretar indisponibilidade à planta e consequente redução da produção (SILVA, 2002).

As formas predominantes de fósforo na solução do solo são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , sendo que preferencialmente é absorvido pelas plantas como H_2PO_4^- (RAIJ, 1991). O fenômeno de retenção de fósforo pelo solo já foi estudado, por Tomas Way, há mais de 165 anos (NOVAIS; SMYTH, 1999). A retenção do fósforo pode ocorrer de diversas formas no solo e dois termos são utilizados em relação à disponibilidade do elemento às plantas, P-lábil e P-não-lábil. O primeiro é usado para definir as formas em equilíbrio rápido com a solução do solo e o último para representar compostos insolúveis e que só lentamente podem passar para a solução do solo (RAIJ, 1991).

Normalmente, a indisponibilização do fósforo é tão mais intensa quanto mais intemperizado, ácido, argiloso e oxidado for o solo, e dentre os fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo estão pH, tipo e quantidade de minerais presentes na fração argila do solo e o teor de matéria orgânica (RESENDE; FURTINI NETO, 2007). A calagem, por exemplo, pode reduzir a adsorção de fósforo na maioria dos solos, tornando cada vez mais negativa a carga do plano de adsorção e elevando a repulsão por fosfato. Assim, ocorre redução da adsorção e aumento da disponibilidade de fósforo nativo do solo e proveniente dos fertilizantes fosfatados solúveis com o uso de calcário (HAYNES, 1984).

O fósforo está presente em componentes estruturais das células, como nos ácidos nucleicos, fosfolípidios das biomembranas e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia (GATIBONI, 2003). ATP e pirofosfato contêm fósforo em sua constituição e atuam no metabolismo, atuam transferindo energia de processos energéticos (como a fotofosforilação, fosforilação oxidativa e fosforilação de substratos) para processos dependentes de energia como a biossíntese de compostos e bombeamento de íons (PREISS, 1984; WALKER; SIVAK, 1986).

O crescimento e o desenvolvimento de plantas submetidas à deficiência de fósforo são reprimidos desde os estádios iniciais da plântula e dependendo da severidade, podem continuar na fase de desenvolvimento. Em condições limitantes de fósforo no solo, as plantas normalmente apresentam pequeno desenvolvimento de raízes e de brotações e, como resultado, ocorre exploração insuficiente do solo, resultando em acesso restrito à água e nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O contato entre o fósforo e a raiz se faz principalmente por difusão, processo segundo o qual o elemento movimenta-se à curtas distâncias dentro de fase aquosa estacionária, denominada solução do solo, a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006). Essa movimentação é influenciada por alguns fatores, como interação com coloides da fração argila do solo, seu teor, volume de água e distância entre o fósforo e a raiz (BASTOS et al., 2008). Alguns fatores da planta e do meio influenciam a absorção de fósforo. Segundo Malavolta (1996), destacam-se a genética da planta, pois existem genes responsáveis pelo carregamento do fosfato; níveis de fósforo no floema que indicam sinais de retroalimentação para regular a absorção; níveis de fósforo e de carboidratos na raiz, e presença ou não de micorrizas no solo, que aumentam a absorção e o transporte de fósforo pelas hifas ramificadas. Entre os fatores do meio estão a concentração externa, o pH, temperatura e o oxigênio.

Depois de absorvido o P inorgânico (P_i) é transportado na planta muito rapidamente (BIELESKI, 1973), tendo cinco principais destinos: a) ingresso no compartimento metabólico (citoplasma celular e organelas), para formar ATP; b) ingresso de pequena nas vias Biosintética de fosfolípidios, DNA, RNA; c) perda por efluxo, dependendo das condições; d) influxo e armazenamento de P_i no vacúolo

para regulação homeostática da célula; e) transporte via simplasto até o parênquima do xilema e depois liberação no apoplasto para transporte à longa distância (FERNANDES, 2006).

Em situações de deficiência de fósforo, que envolvem a conservação do uso do nutriente em condições de baixa disponibilidade por parte da planta, o decréscimo na taxa de crescimento é uma das formas que a planta usa para que necessite menos fósforo para processos que requerem energia e esqueletos carbônicos (UHDE-STONE et al., 2003). Quando o fornecimento de fósforo inorgânico é limitado, este pode ser equilibrado pela quebra de moléculas contendo fósforo em folhas mais velhas e depleção das reservas de P para sanar a falta em folhas mais jovens e raiz (FERNANDES, 2006).

Uma forma de manejo da adubação fosfatada é a combinação de fontes solúveis com pouco solúveis, sendo que as fontes solúveis como superfosfato simples ou triplo forneceriam fósforo na implantação da floresta (arranque inicial), e as fontes de baixa solubilidade, como fosfatos reativos, forneceriam P nas fases de manutenção e crescimento em idade adulta (FERNANDEZ et al., 2000; BARROS; NEVES; NOVAIS, 2005).

Os fertilizantes fosfatados mais comumente usados nos plantios florestais no Brasil são o superfosfato simples, o superfosfato triplo e os fosfatos naturais reativos aplicados na cova ou em sulcos de 15 a 30 cm de profundidade (SILVEIRA ; GAVA, 2004) sendo que, a prática de localizar fertilizantes fosfatados em parte do volume de solo cultivado pode reduzir a retenção do fósforo e otimizar a sua absorção pelas plantas (NOVAIS et al., 1999; LEITE et al., 2009).

Estudos indicam que a omissão de fósforo em *K. senegalensis* causa redução de crescimento em altura, diâmetro e de matéria seca em mudas cultivadas em vasos (NWOBOSHI, 1982; RANCE et al., 1983). Com o recente aumento dos plantios comerciais, a preocupação com os estudos de nutrição com a espécie se intensificou. A avaliação de plantios comerciais de *K. senegalensis* na Austrália até 12 anos de idade demonstrou que a espécie é altamente responsiva à adubação fosfatada, pois deficiências foram observadas em vários tipos de solos daquele país e a adubação fosfatada promoveu respostas positivas no crescimento dos cultivos (BEVEGE et al., 2006). Embora esses estudos indiquem a importância do fósforo

para *K. senegalensis*, é de grande importância mais pesquisas para definir recomendações de adubações fosfatadas para cultivo da espécie em diferentes tipos de solo

1.2.3 Potássio

O potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas. Não apresenta função estrutural e possui função principal de ativação de enzimas. Esse nutriente está relacionado ao potencial osmótico da planta, influenciando a expansão celular e o transporte de íons, além de ser fundamental no movimento estomático. Assim, plantas bem supridas de potássio apresentam maior eficiência do uso da água, enquanto que plantas deficientes em potássio possuem menor desempenho fotossintético, devido à abertura estomática não acontecer de forma regular, reduzindo a entrada de CO_2 (PRADO, 2008).

A fase sólida do solo atua como um reservatório de potássio e de outros nutrientes. A fase líquida do solo é o meio onde ocorre o movimento do cátion, K^+ , até a superfície das raízes. Dessa forma, o conteúdo de água no solo afeta o contato do potássio com a raiz, assim como sua absorção. Geralmente a absorção de potássio ocorre por difusão entretanto, em baixas concentrações extracelulares, a absorção de potássio ocorre com gasto de ATP (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, a umidade do solo é determinante na taxa de absorção de potássio pelo vegetal (KANT; KAFKAFI, 2002; PRADO, 2008).

Na carência de potássio verifica-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maiores taxas de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (PRETTY, 1982). O suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO_2 nos cloroplastos, diminuindo conseqüentemente, a taxa fotossintética (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

O K^+ atua também regulando o movimento estomático, que está relacionado à diferença de turgescência entre as células-guarda e as células subsidiárias. Quando a turgescência das células-guarda é maior que às células subsidiárias, ocorre a abertura dos estômatos. Quando a situação é inversa, ocorre o fechamento

estomático (LARCHER, 2004). O processo ocorre da seguinte forma: o ácido abscísico produzido nas raízes em condições de baixa disponibilidade de água no solo é transportado para a parte aérea atuando como sinalizador dessa condição. Esse hormônio aumenta a concentração citoplasmática de Ca^{2+} , a qual desativa o canal de influxo de K^+ e ativa os canais de ânions voltagem-sensíveis das células-guarda. Com isso, ocorre a elevação do pH citoplasmático ativando os canais de efluxo de K^+ . Esse efluxo resulta na perda de turgor da célula e, conseqüentemente no fechamento estomático (MACROBBIE, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Silva et al. (2004) avaliaram os efeitos do manejo hídrico (0,01 e 1,5 MPa) e da aplicação de potássio (0, 75, 150 e 300 mg L⁻¹) na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* em tubetes durante a fase de rustificação. Os autores verificaram que, sob condições de pouca deficiência hídrica, o potássio foi importante na redução da perda de água pela planta. Para estudar a influência da restrição hídrica e dos níveis de potássio nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp., Teixeira et al. (1995) submeteram as mudas à duas condições hídricas (irrigadas até a capacidade de campo e com restrição hídrica) e 0 e 150 mg L⁻¹ de K em tubetes. Os autores verificaram que o conteúdo de potássio em Latossolo foi importante na manutenção do turgor foliar, mostrando que a aplicação do nutriente pode atenuar efeitos do déficit hídrico.

O nível crítico de K no solo para a cultura do eucalipto aumenta com o acúmulo de biomassa, ou seja, com a idade do povoamento (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1986). Estudos com adubação potássica em plantios de eucalipto mostraram aumento no crescimento em diâmetro e, conseqüentemente, no volume das árvores, tanto em regime de alto fuste como na condução de brotações (FARIA et al., 2002; LACLAU et al., 2009; SETTE JÚNIOR et al., 2010).

De maneira geral, com relação ao uso do potássio em florestas comerciais, ainda faltam estudos para: a) selecionar materiais genéticos produtivos e eficientes na absorção e utilização de potássio; b) determinar a dose econômica adequada de K^+ em função do tipo de solo e do genótipo; c) verificar se existe relação entre a adubação potássica e a qualidade do produto; d) monitorar o estado nutricional visando a detecção de deficiências nutricionais, em tempo para a correção, tendo com isso o menor comprometimento possível da produtividade; e) estabelecer a

influência da relação do potássio com outros nutrientes na produtividade (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

1.3 REFERÊNCIAS

ABPMA. Associação Brasileira de Produtores de Mogno Africano. *Khaya Ivonensis*. Disponível em: <<http://abpma.org.br>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

ARNOLD R, REILLY D, DICKINSON G, JOVANOVIĆ T 2004. Determining the climatic suitability of *Khaya senegalensis* for plantations in Australia. Prospects for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of northern Australia. **Kairi: Private Forestry North Queensland Association**. p. 10, 2004.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Ed.). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p. 335-355.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 76-79, 2005.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V. da; SILVA, I. F. da; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.

BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. **Plant Physiology**, v. 24, p. 225-252, 1973.

BEVEGE, D. I.; NIKLES D. G., DICKINSON G., SKELTON, D. J. (Ed.). Selecting soils and managing nutrition for *Khaya senegalensis*. Where to from here with R&D to underpin plantations of high-value timber species in the 'seasonally-dry' tropics of northern Australia? In: THE WORKSHOP IN TOWNSVILLE, 2006, Townsville, Queensland. **Proceedings...** Kairi: Private Forestry North Queensland Association, 2006. 1 CD-ROM.

CHALMERS, K. J.; NEWTON, A. C.; WAUGH, R.; WILSON, J.; POWELL, W. Evaluation of the extent of genetic variation in mahoganies (Meliaceae) using RAPD markers. **Theoretical and Applied Genetic**, Berlin, v. 89, n. 4, p. 504-508, 1994. Disponível em :<<http://dx.doi.org/10.1007/BF00225387>>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forestry Department. **Databook on endangered tree and shrub species and their provenances**. Rome, 1986. (Forestry Paper, 77).

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda

rotação, em resposta a adubação potássica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 5, p.577-584, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500008>>.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.

FERNANDEZ, J. Q. P.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; MORAES, E. J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, n. 1-3, p. 93-102, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00121-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00121-8)>.

GATIBONI, C. L. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, New York, v. 37, n. 3, p. 249-315, 1984.

HUNG, C. D.; TRUEMAN S. J. *In vitro* propagation of the African mahogany *Khaya senegalensis*. **The New Forest**, London, v. 42, n. 1, p. 117-130, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11056-010-9241-9>>.

IDU, M.; IGELEKE, C. L. Antimicrobial activity and phytochemistry of *Khaya senegalensis* roots. **International Journal Of Ayurvedic And Herbal Medicine Hyderabad**, Hyderabad, v. 2, n. 3, p. 416-422, 2012.

IUCN. The International Union for Conservation of Nature. World Conservation Monitoring Centre. *Khaya senegalensis*. IUCN red list of threatened species: version 2012.2. 1998. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 17 jun. 2012.

JOKER, D.; GAMÉNÉ, S. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. Humlebaek: Seed Leaflet, 66). Disponível em: <http://curis.ku.dk/portal-life/files/20648230/khayasenegalensis_int.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

KANT, S.; KAFKAFI, U. Potassium and abiotic stresses in plants. In: PASRICHA, N. S.; BANSAL, S. K. (Ed.). **Role of potassium in nutrient management for sustainable crop production in India**. Haryana: Potash Research Institute of India: 2002. p. 233-251.

KY-DEMBELE C.; TIGABU, M.; BAYALA, J.; SAVADGO P.; BOUSSIM, I. J.; ODÉN, P. C. Clonal propagation of *Khaya senegalensis*: the effects of stem length, leaf area, auxins, smoke solution, and stock plant age. **International Journal of Forestry Research**, Cairo, v. 2011, p. 1-10, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2011/281269>>.

LACLAU, J. P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R. M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, Dordrecht, v. 29, n. 1, p. 111-124, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpn010>>.

LAMPRECHT H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2004. 531 p.

LEITE, P. B.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; GUARÇONI M, A.; ZANÃO JÚNIOR. L. A. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1311-1322, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500024>>.

MALAVOLTA, E. Potássio é uma realidade – o potássio é essencial para todas as plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 73, p. 5-6, 1996.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MACROBBIE, E. A. C. Control of volume and turgor in stomatal guard cells. **The Journal of Membrane Biology**, New York, v. 210, n. 2, p. 131-142, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00232-005-0851-7>>.

NIKIEMA, A.; PASTERNAK, D. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (Ed.). **Plant Resources Tropical (PROTA)**. Wageningen, Netherlands, 2008. Disponível em: <http://database.prota.org/dbtw-wpd/exec/dbtwpub.dll?AC=GET_RECORD&XC=/dbtw-wpd/exec/dbtwpub.dll&BU=http%3A%2F%2Fdatabase.prota.org%2Fsearch.htm&TN=Protabase&SN=AUTO17187&SE=1561&RN=0&MR=20&TR=0&TX=1000&ES=0&CS=0&XP=&RF=Webreport&EF=Basic+Record+Form&DF=Webdisplay&RL=0&EL=1&DL=0&NP=3&ID=&MF=&MQ=&TI=0&DT=&ST=0&IR=1385&NR=0&NB=0&SV=0&SS=0&BG=&FG=&QS=Search&OEX=ISO-8859-1&OEH=ISO-8859-1>. Acesso em: 20. set. 2014.

NIKLES D. G. Developing African mahogany (*Khaya senegalensis*) germplasm and its management for a sustainable forest plantation industry in northern Australia: progress and needs. **Australian Forestry**, Yarralumla, v. 71, n. 1, p. 33–47, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 10-11, 1999.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de

implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

NWOBOSHI, L. C. Indices of macronutrient deficiencies in *Khaya senegalensis*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 13, n. 8, p. 666-682, 1982.

OFORI, D. A.; GYIMAH, A., OBIRI-DARKO, B.; ADAM, K. A., ADDAE, A.; JIMOH, S. O. Ethnobotany of some selected medicinal plants. Kumasi: **Forestry Research Institute of Ghana**, 2011. 34 p. (Technical Note, 4). Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/B17263.PDF>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

ORWA C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; SIMONS, A. J. **Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0**. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Khaya_senegalensis.pdf>. Acesso em 13 jul. 2016.

PINHEIRO A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (Khaya spp)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP 2008. 407 p.

PREISS, J. Starch, sucrose biosynthesis and partition of carbon in plants are regulated by orthophosphate and triose-phosphates. **Trends in Biochemical Sciences**, Cambridge, v. 9, n. 1, p. 24-27, 1984.

PRETTY, K. M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 177-194.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1991. 343 p.

RANCE, S. J.; CAMERON, D. M.; WILLIAMS, E. R. Nutritional requirements and interactions of *Khaya senegalensis* on tropical red and yellow earths. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 14, n. 2, p. 167-183, 1983. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00103628309367353>>.

RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p. (Documentos, 195)

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMENFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, n. esp., p. 2723-2733, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700016>>.

SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600003>>.

SILVA, M. L. S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto**. 111p. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex. Maiden). **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 495-536.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 12 p. (Encarte Técnico).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Piracicaba, Artmed, 2013. 820 p.

TEIXEIRA, P. C.; LEAL, P. G. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Nutrición potásica y relaciones em plantas de *Eucalyptus* spp. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 2, p. 61-68, 1995.

UHDE-STONE, C.; UDHE-STONE, C.; GILBERT, G.; JOHNSON, J.; LITJENS, R.; ZINN, K.; TEMPLE, S.; VANCE, C.; ALLAN, D. Acclimatation of white lupin to phosphorus deficiency involves enhanced expression of genes related to organic acid metabolism. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 248, p. 99–116, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022335519879>>.

VASCONCELOS, R. T.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. B. B.; PEREZ, B. A. P. Rooting of African mahogany (*Khaya senegalensis* A.Juss.) leafy stem cuttings under different concentrations of indole-3-butyric acid. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 23, p. 2050-2057, 2016. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.10936>>.

WALKER D. A.; SIVAK, M. N. Photosynthesis and phosphate: a cellular affair? **Trends in Biochemical Sciences**, Cambridge, v. 11, n. 4, p. 176-179, 1986.

CAPÍTULO 2 – Fertilização fosfatada na implantação de *Khaya senegalensis*

A.Juss.

RESUMO - A fertilização na implantação de florestas comerciais de mogno-africano pode promover maior crescimento inicial das plantas e garantir o estabelecimento rápido do povoamento. No entanto, existem poucos trabalhos específicos de nutrição com a espécie, pois os plantios comerciais são recentes. Com o presente trabalho objetivou-se verificar os efeitos da aplicação de doses de fósforo no crescimento, na concentração de macronutrientes nas folhas, na condutância estomática, na transpiração, na fotossíntese e na eficiência do uso da água em plantas de *Khaya senegalensis* na fase de implantação. No plantio, foram aplicados 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em Argissolo Vermelho-Amarelo e as mudas foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m, em janeiro de 2014. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco repetições. Foram feitas avaliações de altura e diâmetro do caule aos 6, 12, 18 e 24 meses após plantio. Aos 12 meses foi determinada a concentração de macronutrientes nas folhas, a condutância estomática, a transpiração, a fotossíntese e a eficiência do uso da água. A fertilização fosfatada promoveu maior crescimento das plantas no período de um a dois anos de idade, promovendo aumento linear de altura e diâmetro à altura do peito com o aumento das doses de fósforo até a dose máxima de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave: argissolo; fisiologia; mogno-africano; nutrição.

2.1 INTRODUÇÃO

O gênero *Khaya* pertence à família Meliaceae e compreende quatro importantes espécies madeireiras comerciais, *Khaya ivorensis*, *Khaya grandifolia*, *Khaya anthotheca* e *Khaya senegalensis*. Nenhuma delas se distingue substancialmente do mogno-brasileiro (*Swietenia macrophylla*), nem sob o aspecto fisionômico, nem quanto à qualidade da madeira (LAMPRECHT, 1990).

Na África, *K. senegalensis* é encontrada naturalmente desde solos de galeria até solos de savana lateríticos e pedregosos, em altitudes que variam de 0 a 1.800 m e em precipitações de 700 e 1.750 mm por ano (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). Essas variações edafoclimáticas que ocorrem na procedência têm despertado grande interesse por plantios comerciais da espécie, pois conferem a ela ampla adaptação fisiológica e genética, que está sendo domesticada em vários países (ORWA et al., 2009).

No Brasil, *K. senegalensis* é conhecida como mogno-africano, e a comercialização de sua madeira atinge preço bastante elevado no mercado, tornando-se um excelente investimento a médio prazo (PINHEIRO et al., 2011). O preço FOB da sua madeira para exportação no Oeste da África, segundo a Internacional Tropical Timber Organization, é de €450 a €460 por m³ (ITTO, 2016) e os custos de implantação e manutenção das florestas são compensados já com as receitas do 6º e 12º ano, produzindo do 17º ao 25º ano uma receita líquida de 140 mil dólares por hectare, sem contar o aproveitamento das sementes, que podem ser comercializadas a partir do 20º ano para formação de mudas (LIMA, 2002).

Os plantios no Brasil e no mundo são recentes e estão em expansão. Na Austrália, um dos primeiros países a ser introduzida, os plantios comerciais

somavam, em 2007, 1.500 hectares (NIKLES et al., 2008). No Brasil, segundo informação da Associação Brasileira de Plantadores de Mogno Africano, existem hoje mais de 10.000 hectares plantados com idades de 1 a 7 anos (ABPMA, 2016).

Como os plantios são recentes, há necessidade de pesquisas sobre a nutrição do mogno-africano (PINHEIRO et al., 2011) e, em avaliações preliminares, por meio de levantamentos de plantios comerciais jovens de *K. senegalensis* na Austrália, foram observados sintomas de deficiências de fósforo e respostas positivas à fertilização fosfatada no crescimento de *K. senegalensis* (BEVEGE et al., 2006). Esses resultados necessitam ser detalhados por pesquisas locais que determinem os níveis críticos do nutriente no solo e as doses adequadas de fertilizantes para garantir a produtividade dos plantios comerciais de *K. senegalensis* (NIKLES et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de fósforo no crescimento, concentração de macronutrientes nas folhas e nas trocas gasosas de *K. senegalensis* na fase de implantação.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O experimento foi implantado em janeiro de 2014 e foi conduzido até janeiro de 2016, na Fazenda São Gabriel, município de Monte Alto – SP. O clima da região é classificado como Cwa - mesotérmico de inverno seco, pelo sistema internacional de Köppen (1948), apresentando temperatura média anual máxima de 28 °C e mínima de 15 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.440 mm, com 85% do total de chuvas concentradas nos meses de outubro a março. A umidade relativa média do ar é de 75% (CEPAGRI, 2015). O solo da região é classificado

como Argissolo Vermelho-Amarelo e relevo suave ondulado (PVA) (OLIVEIRA et al.,1999). Na Figura 1 está a localização do experimento e na Figura 2 estão as médias mensais de temperatura e precipitação medidas de janeiro de 2014 a janeiro de 2016, na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal (SP), que dista 20 km do local do experimento.



Figura 1. Localização do experimento de aplicação de fósforo para a cultura de *Khaya senegalensis*, na Fazenda São Gabriel em Monte Alto - SP, coordenadas 21°17'33,87''S e 48°28'56,68''W. Foto obtida por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) em 20/07/2016, que foi sobreposta a imagem Google Earth datada de 09/09/2016.

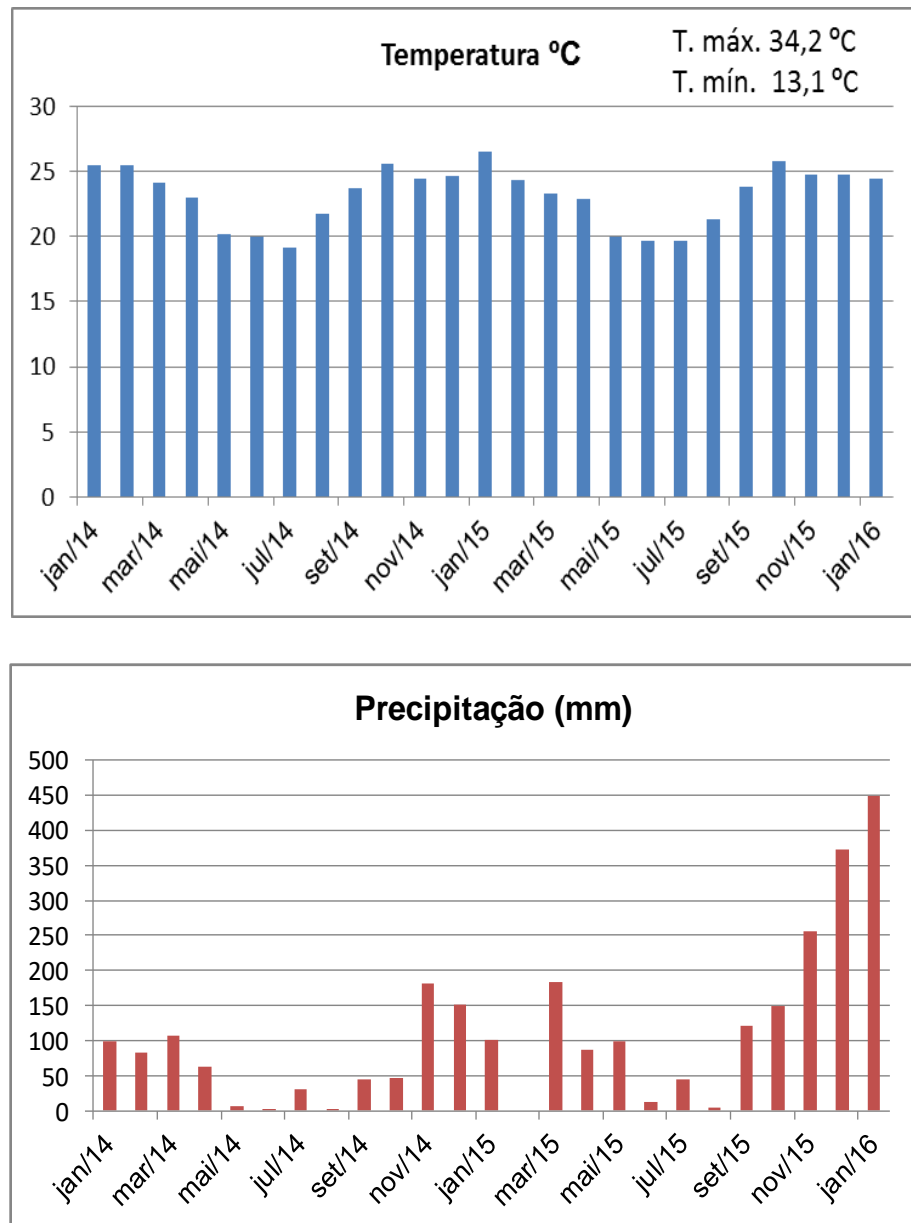


Figura 2. Médias mensais de temperatura, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação registradas na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal (SP), que dista 20 km do local do experimento, durante o período de jan/2014 a jan/2016.

2.2.2 Histórico e preparo da área

A área do experimento permaneceu sem cultivo e adubação por mais de 10 anos. Em dezembro de 2013, foi feita dessecação de gramíneas na área através da aplicação de glifosato e gradagem pesada para incorporação do material vegetal.

A área do experimento permaneceu sem uso ou cultivo agrícola por mais de 10 anos. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico petroplântico, com horizonte A moderado, textura arenosa/média (EMBRAPA, 2006). Na área experimental de 5.400 m² foi coletada uma amostra de solo composta, obtida através de 21 amostras simples, coletadas nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm. Nestas amostras foram realizadas análises granulométricas, segundo Camargo et al. (2009), e químicas segundo Raij et al. (2001), e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das análises granulométrica e química das amostras de solo, coletadas na camada de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, Monte Alto - SP, 2013.

Profundidade cm	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Classe Textural											
	2-0,20mm	0,20-0,05mm	< 0,002mm	0,05-0,002mm												
----- g kg ⁻¹ -----																
0 - 20	240	540	150	70	Franco arenosa											
20 - 40	230	540	170	60	Franco arenosa											
cm	MO	pH CaCl ₂	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	H + Al	CTC	V	P resina	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----							%	mg dm ⁻³						
0-20	20	4,6	8	4	1,6	14	34	48	29	3	7	0,22	0,6	60	7,5	0,3
20 - 40	18	4,5	11	4	1,6	17	34	51	33	3	8	0,22	0,5	52	7,3	0,2

O calcário, com PNRT 86% foi aplicado em janeiro de 2014, a lançar em área total e incorporado ao solo com grade pesada para elevar o índice de saturação por bases a 60%. Após sete dias, foi aberto um sulco contínuo de 30 cm de

profundidade determinando as linhas de plantio, no espaçamento de 3 m entre linhas, com o uso de sulcador tracionado por trator.

2.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de fósforo na forma de superfosfato triplo (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados nas laterais do sulco, linearmente, 50 cm de cada lado do ponto de colocação da muda. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições.

2.2.4 Produção de mudas, plantio e condução do experimento

As sementes que deram origem às mudas foram importadas de Honduras, cidade de Siguatepe, cuja procedência é a Aldeia de Tiakane, Burkina Faso (África), situada a 11° 11' 10" de latitude norte e 1° 12' 14" de longitude oeste. O clima de Burkina Faso é tropical semi-árido, com altas temperaturas, apresentando valor médio anual de 30 °C, e evapotranspiração potencial anual de aproximadamente 2.000 mm. Apresenta estação seca longa, de outubro a maio, e período chuvoso curtocompreendido entre os meses de julho e setembro (COUTERON; KOKOU, 1997). Na Aldeia de Tiakane, a quantidade anual de chuvas não passa de 914 mm anuais (CLIMATE-DATA, 2016). Os recipientes usados na formação das mudas foram tubetes de plástico, com volume de 120 cm³, contendo substrato Plantmax Florestal®, sendo incorporado ao substrato de cada tubete, 1,2 g de Osmocote Plus®. Aos 40 dias da semeadura, as mudas foram transferidas para área a pleno sol, aumentou-se o espaçamento entre elas e mantendo a irrigação por 10 minutos a

cada hora foi. A partir de 62 dias da semeadura, iniciou-se a rustificação, diminuindo o tempo de cada irrigação para 7 minutos a cada hora.

As mudas com 30 cm de altura média e 5 mm de diâmetro médio do coleto foram plantadas no espaçamento 3 m x 2 m, no dia 25 de janeiro de 2014. Cada parcela, com 216 m², foi formada por seis plantas em seis linhas de plantio, totalizando 36 plantas. As avaliações foram feitas nas 16 plantas centrais, descontando-se a bordadura simples, o que resultou em área útil de 96 m² por parcela. Após o plantio, foi adicionada cobertura morta com grama seca na coroa das mudas para manutenção da umidade do solo e, na ausência de chuvas, foram realizadas irrigações com tanque pipa e trator, adicionando-se cerca de 5 L de água por planta até o completo pegamento das mudas.

Todos os tratamentos receberam adubação básica de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, com o uso de cloreto de potássio, e 60 kg ha⁻¹ de N, com uso de sulfato de amônio, ambos de forma parcelada (1/3 no sulco de plantio, 50 cm de cada lado do ponto de colocação da muda e os outros 2/3 divididos aos 3 meses e 6 meses do plantio, num raio de 50 cm da planta).

Durante a condução do experimento de campo, nos primeiros 15 dias foi realizado o replantio das mudas mortas, e durante todo o período do experimento foi realizado o combate a formigas cortadeiras, capinas manuais nas linhas de plantio e mecânicas nas entrelinhas, podas de condução, e manutenção de aceiros para prevenção a incêndios.

2.2.5 Avaliações e análises estatísticas

Foram feitas avaliações de altura e diâmetro do caule das plantas aos 6, 12, 18 e 24 meses de idade, sendo que, na primeira avaliação o diâmetro do caule foi medido a 20 cm de altura do solo e, nas demais avaliações, a 1,3 m de altura do solo, referente ao diâmetro à altura do peito (DAP). Para determinar as concentrações de macronutrientes nas folhas, aos 12 meses foi obtida amostra composta de aproximadamente 200 g de folhas por parcela, coletadas do terço superior e dos quatro pontos cardeais das copas de quatro árvores médias dentro da área útil da parcela. As amostras compostas foram lavadas com água de torneira e com água deionizada. Em seguida, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingir massa constante. Depois foram processadas em moinho de aço inoxidável do tipo Willey, com peneira de 20 mesh, de acordo com as instruções de Bataglia et al. (1983). Posteriormente, uma porção dessas amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, enquanto outra foi submetida a digestão sulfúrica visando à determinação do teor de N. O P foi determinado pelo método da redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974); o K, por fotometria de chama; o Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; o S, por turbidimetria do sulfato (BLANCHAR et al., 1963) e o N foi quantificado pelo método colorimétrico de Nessler.

Foram feitas avaliações de condutância estomática, transpiração e fotossíntese aos 12 meses. As avaliações foram realizadas entre 8h e 11h da manhã, analisando três folhas do terço superior da copa e do ramo de três plantas

centrais da parcela, com o uso do IRGA (Infra-Red Gas Analyser – modelo LCpro-SD da ADC BioScientific), usando temperatura e umidade ambiente, concentração de CO₂ fixada em $380 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (FFFA) de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondente a 80% do valor máximo de fotossíntese obtido em teste preliminar. A partir dos resultados médios de fotossíntese e condutância estomática, foi estimada a eficiência do uso da água (EUA), com o uso da equação: $\text{EUA} = \text{fotossíntese}/\text{condutância estomática}$.

Os dados das características avaliadas em função das doses de fósforo foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Os efeitos das doses de P nas características da planta foram estudados por equações de regressão polinomial.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos dos tratamentos no crescimento das plantas de *K. senegalensis* só foram observados a partir de 12 meses de idade, sendo que o aumento das doses de fósforo promoveu um aumento linear de altura e DAP até a dose máxima de 120 kg ha^{-1} de P₂O₅ (Tabela 2 e Figuras 3 e 4).

TABELA 2. Médias e resumo das análises de regressões de altura e diâmetro de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 6, 12, 18 e 24 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	Médias							
	6 meses		12 meses		18 meses		24 meses	
	Altura (m)	Diâmetro ¹ (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)
0	0,49	1,58	2,55	3,74	3,33	4,63	4,52	6,58
30	0,55	1,74	2,70	4,14	3,48	5,14	4,67	6,80
60	0,55	1,72	2,77	4,14	3,73	5,24	4,91	6,92
90	0,51	1,64	2,80	4,28	3,86	5,25	5,04	7,04
120	0,58	1,81	2,81	4,29	4,10	5,54	5,23	7,38

Causas de Variação	Teste F							
	6 meses		12 meses		18 meses		24 meses	
	Altura (m)	Diâmetro ¹ (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)	Altura (m)	Diâmetro ² (cm)
Regressão Linear	1,80 ^{ns}	1,21 ^{ns}	9,34 ^{**}	5,70 [*]	44,77 ^{**}	13,98 ^{**}	29,35 ^{**}	12,32 ^{**}
Regressão Quadrática	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Regressão Cúbica	2,23 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,40 ^{ns}
CV %	14,30	14,09	5,35	5,34	5,52	7,08	4,80	5,39

¹ Diâmetro a 20 cm do solo; ² Diâmetro a 1,3 m do solo (DAP)

^{ns} = não significativo ($p > 0,05$); (*, **) significativos respectivamente ($p \leq 0,05$) e ($p \leq 0,01$)

Assim como no presente trabalho, pesquisadores australianos, através de levantamentos em plantios comerciais de *K. senegalensis*, notaram que o crescimento das plantas foi comprometido a partir do primeiro ano quando não foi aplicado fósforo no plantio (BEVEGE et al., 2006).

Estudos em vasos com plantas de *K. senegalensis* também mostram a importância de fósforo para a espécie já nas primeiras fases de desenvolvimento, quando a omissão de fósforo também causou a redução de crescimento em altura, diâmetro e também matéria seca de mudas de *K. senegalensis* (NWOBOSHI, 1982; RANCE et al., 1983).

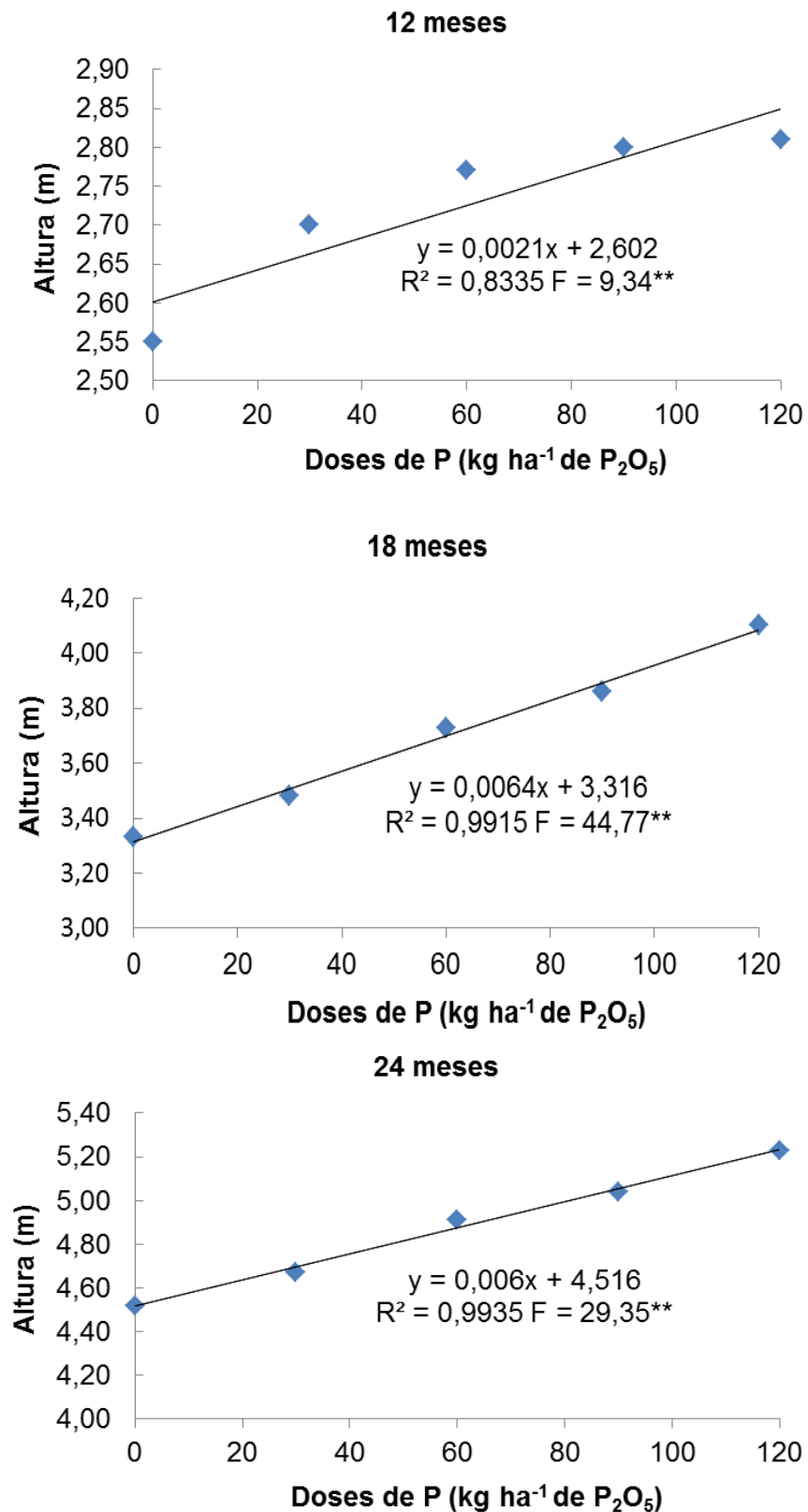


FIGURA 3. Altura de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 12, 18 e 24 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

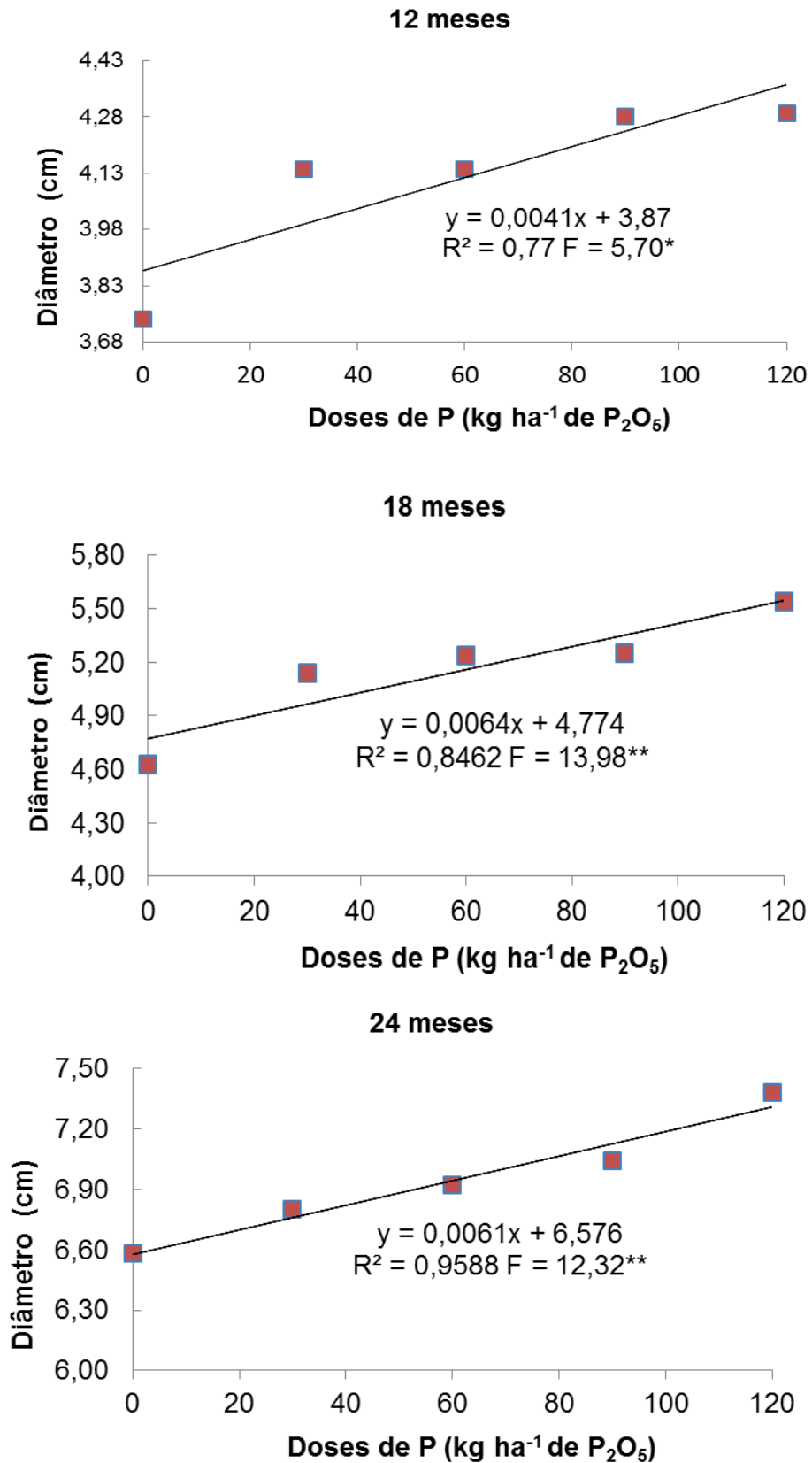


FIGURA 4. Diâmetro do caule a 1,3 m do solo (DAP) de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 12, 18 e 24 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Assim como a omissão, a fertilização fosfatada também tem causado rápidas respostas no crescimento de plantas do gênero *Khaya* em vasos. A aplicação de 125 mg dm^{-3} de P promoveu máximo crescimento em altura (73 cm) e diâmetro do caule (26,3 mm), e a aplicação de 185 mg dm^{-3} de P promoveu máxima massa seca total das plantas de *K. senegalensis* cultivadas em vasos, aos 180 dias do plantio (OLIVEIRA et al., 2015). Corcioli, Borges e Jesus (2014) também verificaram que a aplicação de fósforo foi essencial para desenvolvimento das plantas de *Khaya ivorensis* aos 55 dias após o início dos tratamentos nutricionais, mostrando também a rápida resposta da fertilização fosfatada para esta outra espécie do gênero *Khaya*.

Esse efeito rápido do fósforo mostra a importância da aplicação da dose de fósforo adequada desde a implantação da cultura (GRANT et al., 2001). O fósforo desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, divisão e crescimento celular e na transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina (ATP) (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) e promove o crescimento do sistema radicular (GONÇALVES et al., 2000), além de influenciar na contração radial e tangencial da madeira (MOYA et al., 2010). Portanto, sua falta limita o crescimento das plantas desde a fase de implantação.

Um experimento de omissão sob condições de campo foi realizado na Austrália, e vem sendo conduzido por 12 anos. O tratamento completo constou de 214 kg ha^{-1} de N; $192,36 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 ; $150,57 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O ; 87 kg ha^{-1} de S e 174 kg ha^{-1} de Ca, mais micronutrientes. Foi verificado, aos dois anos de idade, que as plantas cultivadas na omissão de fósforo apresentaram 1,35 m a menos do que as árvores do tratamento completo. Aos seis anos, essa diferença aumentou para 2,30 m. A partir do sexto ano, foi avaliado somente o DAP (diâmetro a 1,30 m do

solo) das plantas. Aos seis anos a diferença entre a omissão e o tratamento completo foi de 3,80 cm de DAP e aos doze anos a diferença aumentou para 4,80 cm. A omissão de fósforo só não limitou mais o crescimento do que a omissão conjunta de todos os nutrientes (BEVEGE et al, 2006). De acordo com esses autores, o fósforo é o nutriente limita mais e mais rapidamente o crescimento de *K. senegalensis*, sendo que a planta não se recupera dos efeitos negativos da sua omissão mesmo após 12 anos de cultivo.

Com relação às concentrações de macronutrientes nas folhas de *K. senegalensis* aos 12 meses após o plantio, o aumento das doses de fósforo elevou a concentração de potássio e reduziu a de enxofre (Tabela 3 e Figura 5).

TABELA 3. Médias de concentrações de macronutrientes nas folhas de *Khaya senegalensis* e resumo das análises de regressões em função das doses de fósforo aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	Concentrações (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
0	20,64	1,11	13,18	18,81	2,11	2,05
30	17,50	1,06	13,48	19,98	2,69	1,87
60	22,62	1,19	13,03	19,75	2,24	1,79
90	19,46	1,08	14,69	19,99	2,35	1,58
120	18,79	1,26	14,32	18,70	2,22	1,60
Causas de Variação	Teste F					
Regressão Linear	0,07 ^{ns}	1,68 ^{ns}	7,49*	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	12,93*
Regressão Quadrática	0,10 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Regressão Cúbica	0,20 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,16 ^{ns}
CV %	9,18	6,14	6,54	12,95	17,47	13,09

^{ns} = não significativo (p > 0,05); (*) significativo (p < 0,05)

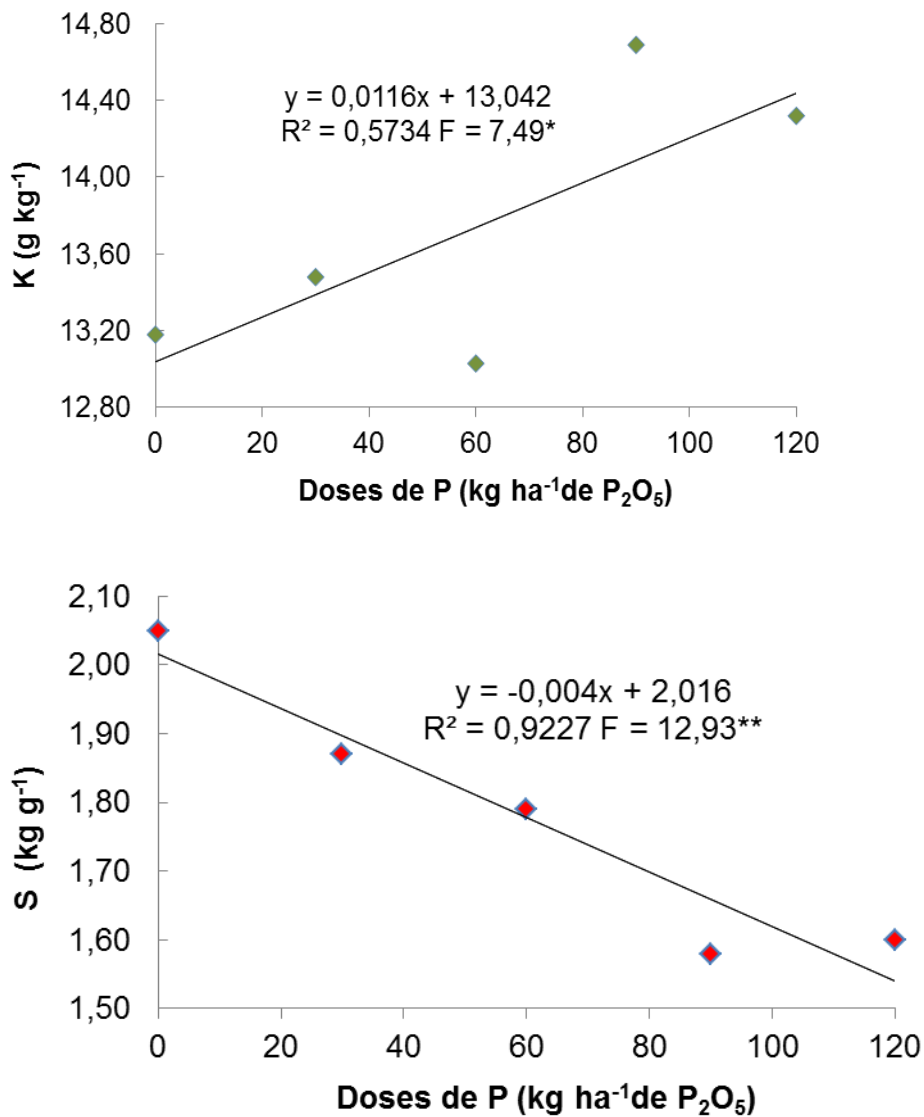


FIGURA 5. Concentração de potássio e enxofre nas folhas de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 12 de idade, Monte Alto – SP, 2016.

As plantas que receberam maiores quantidades de fósforo tiveram maior crescimento em altura e diâmetro, o que pode ter causado um efeito de diluição na concentração de enxofre nas folhas, fato relatado na literatura (JARRELL; BEVERLY, 1981). Nowboshi (1982) verificou que a omissão de fósforo refletiu em redução significativa na concentração do mesmo nas folhas além de um efeito secundário de decréscimo da concentração de cálcio e magnésio nas folhas. Esses

resultados não se repetiram no presente trabalho. Alves (2013), aplicando solução nutritiva completa, com macro e micronutrientes, sob a forma de maxsol ® não verificou diferenças nas concentrações de macro e micronutrientes na matéria seca total das plantas de *K. senegalensis* em tratamentos com e sem adição de solução.

De modo geral, as concentrações foliares dos macronutrientes foram adequadas para as plantas de *K. senegalensis* aos 12 meses de idade, de acordo com a primeira aproximação de concentrações adequadas de macronutrientes nas folhas de povoamentos comerciais da espécie na Austrália (BEVEGE et al., 2006).

Não houve efeito das doses de fósforo na condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea no uso da água das plantas de *K. senegalensis* aos 12 meses de idade (Tabela 4), porém houve efeito linear positivo na transpiração (Figura 6).

TABELA 4. Médias e resumo das análises de regressão de transpiração, condutância estomática e fotossíntese de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de P (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	Características			
	<i>E</i>	<i>Gs</i>	<i>A</i>	EUA _{inst}
0	3,80	0,23	11,53	53,06
30	3,63	0,21	11,29	53,20
60	4,22	0,24	12,44	52,89
90	4,06	0,26	12,36	49,41
120	4,28	0,23	12,01	54,01
Causas de Variação	Teste F			
Regressão Linear	5,75*	1,56 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Regressão Quadrática	0,00 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Regressão Cúbica	0,39 ^{ns}	4,33 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,30 ^{ns}
CV %	10,30	14,54	7,70	12,77

^{ns} = não significativo ($p > 0,05$); (*) significativo ($p < 0,05$); *E* - transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *gs* – condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *A* - taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); EUA_{inst} -eficiência instantânea no uso da água ($\mu\text{mol mol}^{-1}$).

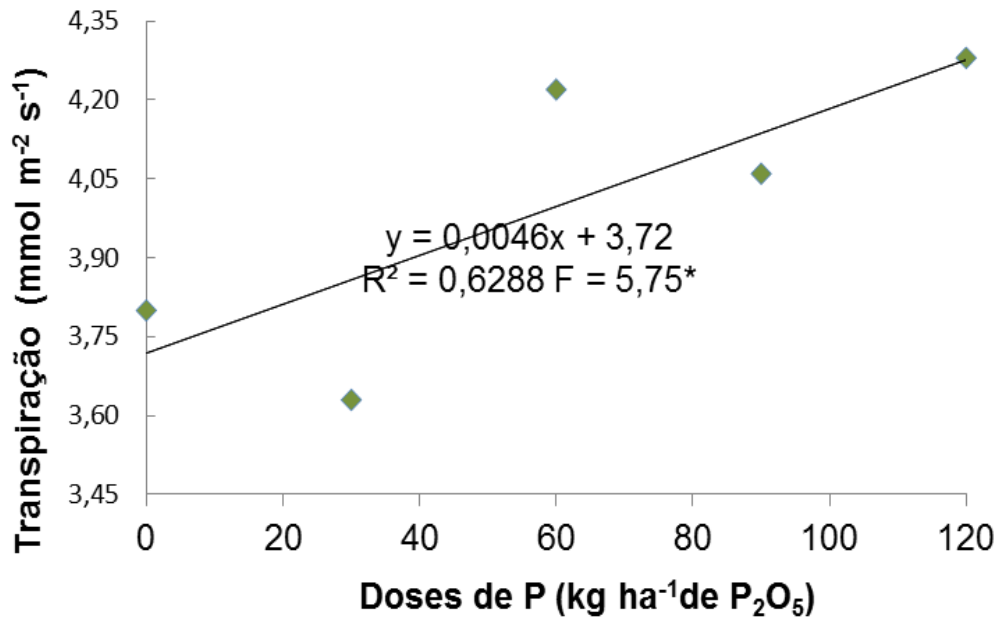


Figura 6 . Transpiração de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de fósforo aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

O aumento da transpiração não apresentou correlação com o aumento da concentração de potássio nas folhas ($0,29^{ns}$; $P > 0,05$), indicando que não foi o aumento da concentração de potássio nas folhas que causou o aumento na transpiração.

O fato da coleta dos dados fisiológicos ter sido realizada no dia 25 de janeiro de 2015, em pleno verão, época em que o solo não apresentava limitação de água, favoreceu a manutenção da fotossíntese, condutância estomática e transpiração, mesmo nos tratamentos que receberam menores quantidades de fósforo, pois apesar de *K. senegalensis* ser uma espécie moderadamente tolerante o déficit hídrico (MATOS et al., 2016), acentuada redução da disponibilidade de água no solo diminui o seu crescimento, sua transpiração, sua condutância estomática e sua taxa fotossintética e aumenta sua eficiência do uso da água (PEREZ et al., 2016).

De outro modo, em condições de menor disponibilidade de água, associada à

baixa disponibilidade de fósforo no solo, pode ocorrer decréscimo da ciclagem de fósforo entre o citoplasma e o estroma das plantas (HENDRICKSON, CHOW, FURBANK, 2004; SANTOS et al., 2006) e conseqüentemente, diminuição no consumo e produção de ATP e NADPH, menor carboxilação/regeneração de RuBP (SHUBHRA et al., 2004), decréscimo na expressão de genes relacionados à fotossíntese (LAWLOR; CORNIC, 2002), fechamento estomático (FLÜGGE et al., 2003) e menor condutância do mesófilo (LAWLOR; CORNIC, 2002). Portanto, em condições de restrição hídrica e baixa concentração de fósforo no solo, ocorre menor absorção do nutriente, menor atividade fotossintética e conseqüente redução do crescimento da planta.

2.4 CONCLUSÕES

A fertilização fosfatada no plantio de mogno-africano (*Khaya senegalensis*) em Argissolo com teor de fósforo muito baixo, favoreceu o crescimento das plantas no período entre um e dois anos de idade, promovendo aumento linear da altura e diâmetro à altura do peito com o aumento das doses até 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

2.5 REFERÊNCIAS

ABPMA. Associação Brasileira de Produtores de Mogno Africano. ***Khaya ivorensis***. Disponível em: <<http://abpma.org.br>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

ALVES, M. S. **Produção e qualidade de mudas de mogno africano cultivadas com solução nutritiva**. 2013. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2013.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. (Boletim Técnico, 78).

BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, Madison, v.29, p.71-72, 1963.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.

BEVEGE, D. I. et al. Selecting soils and managing nutrition for *Khaya senegalensis*. Where to from here with R&D to underpin plantations of high-value timber species in the 'seasonally-dry' tropics of northern Australia? In: THE WORKSHOP IN TOWNSVILLE, 2006, Townsville, Queensland. **Proceedings...** Kairi: Private Forestry North Queensland Association, Qld, 2006. 1 CD-ROM.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas E Climáticas Aplicadas A Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. Disponível em:

<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_353.html>. Acesso em: 13 jul. 2016.

CLIMATE-DATA.ORG – Climate: Tiakane. Disponível em: < <http://en.climate-data.org/location/999743/>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

CORCIOLI, G.; BORGES J. D.; JESUS, R. P. Sintomas de deficiência nutricional de macronutrientes em mudas de *Khaya ivorensis* cultivadas em solução nutritiva. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 159-164, 2014.

COUTERON, P.; KOKOU, K. Woody vegetation spatial patterns in a semi-arid savanna of Burkina Faso, West Africa. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 132, n. 2, p. 211-227, 1997.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 91-132.

FLÜGGE, U. I. et al. Functional genomics of phosphate antiport systems of plastids. **Physiologia Plantarum**, New Jersey, v. 118, n. 4, p. 475-482, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro. 2006. 306 p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.

GRANT, C. A. et al. **A importância do fósforo no crescimento inicial da planta**. Piracicaba: POTAFOS, 2001, 5 p. (Informações Agronômicas, 95).

HENDRICKSON, L.; CHOW, W. S.; FURBANK, R. T. Low temperature effects on grapevine photosynthesis: the role of inorganic phosphate. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 31, n. 8, p. 789-801, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/FP04037>>.

ITTO – Internacional Tropical Timber Organization, **Tropical Timber Market Report**, v. 20, n. 14, p. 1-23, 2016.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 34, n 1, p. 197-224, 1981.

JOKER, D.; GAMÉNÉ, S. *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. Humlebaek: seed leaflet, 66), 2012. Disponível em: <http://curis.ku.dk/portallife/files/20648230/khayasenegalensis_int.pdf >. Acesso em: 20 jun. 2016.

KOEPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LAMPRECHT H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Rossdorf: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1990. 343 p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Londres, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LIMA, V. G. **Estudio técnico económico para establecer una plantación de caoba africana (*Khaya senegalensis*) en el valle del Yeguaré, Honduras**. 2002. 42p. (Graduação em Agronomia) – Zamorano Carrera de Desarrollo sócio económico y ambiente, San Antonio do Oriente, 2002.

MATOS, F. S. et al. Growth of *Khaya senegalensis* plant under water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 18, p. 1623-1628, 2016.

MOYA, R. et al. Efeito das propriedades físicas e químicas do solo em algumas propriedades da madeira de teca (*Tectona grandis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1109-1118, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600017>>.

NIKLES D. G. Developing African mahogany (*Khaya senegalensis*) germplasm and its management for a sustainable forest plantation industry in northern Australia: progress and needs. **Australian Forestry**, Yarralumla, v. 71, n. 1, p. 33–47, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00049158.2008.10676269>>.

NWOBOSHI, L. C. Indices of macronutrient deficiencies in *Khaya senegalensis*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 13, n. 8, p. 666-682, 1982.

OLIVEIRA, C. S. **Efeito do fósforo no desenvolvimento inicial de plantas de mogno-africano**. 2015. 18 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Goiás, Ipameri, 2015.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1999.

ORWA C. et al. **Agroforestry Database: a tree reference and selection guide** version 4.0. 2009. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Khaya_senegalensis.pdf>. Acesso em 13 jul. 2016.

PEREZ, B. A. P. et al. Potassium doses for African mahogany plants growth under two hydric conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 22, p. 1973-1979, 2016.

PINHEIRO A. L. et al. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.)**. Viçosa-MG: Sociedade de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RANCE, S. J.; CAMERON, D. M.; WILLIAMS, E. R. Nutritional requirements and interactions of *Khaya senegalensis* on tropical red and yellow earths. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 14, n. 2, p. 167–183, 1983.

SANTOS, M. G. et al. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. **Plant Science**, Florida, v. 170, n. 3, p. 659-664, 2006.

SHUBHRA J. et al. Influence of phosphorus application on water relations, biochemical parameters and gum content in cluster bean under water deficit. **Biologia Plantarum**, Prague v. 48, n. 3, p. 445-448, 2004.

CAPÍTULO 3 – Fertilização potássica na implantação de *Khaya senegalensis*

A.Juss

RESUMO – Nos solos usados para plantios florestais no Brasil, a deficiência de potássio tem sido comumente encontrada, o que pode limitar economicamente a produtividade e o estabelecimento rápido de florestas comerciais de mogno-africano. Com o presente trabalho, objetivou-se verificar os efeitos da aplicação de doses de potássio no crescimento, na concentração de macronutrientes nas folhas, na condutância estomática, na transpiração, na fotossíntese e na eficiência do uso da água em plantas de *Khaya senegalensis* na fase de implantação. No plantio, foram aplicados 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O em Argissolo Vermelho-Amarelo e as mudas foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m, em março de 2014. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Foram feitas avaliações de altura e diâmetro do caule aos 12, 18 e 24 meses após o plantio. Aos 12 meses, foi determinada a concentração de macronutrientes nas folhas, a condutância estomática, a transpiração, a fotossíntese e a eficiência do uso da água. *Khaya senegalensis* é pouco exigente em potássio na fase inicial de crescimento, desde que as demais necessidades nutricionais sejam atendidas.

Palavras-chave: adubação potássica; mogno-africano; fotossíntese; nutrição.

3.1 INTRODUÇÃO

A família Meliaceae, da qual *Khaya senegalensis* faz parte, está entre as famílias comerciais mais importantes do mundo, pois possui gêneros comerciais importantes, como o gênero *Cedrela* e *Swietenia* na América e *Toona* e *Khaya* na região paleotropical que inclui Austrália, África e Ásia (CHALMERS et al., 1994).

Khaya senegalensis A.Juss. fornece madeira valiosa, usada durante séculos na fabricação de móveis e decoração de interiores, possuindo o melhor acabamento superficial de todas as madeiras do gênero *Khaya* (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). Tem sua ocorrência natural registrada nos seguintes países: Camarões, República Centro-Africana, Chade, Costa do Marfim, Guiné Equatorial, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Mali, Nigéria, Níger, Senegal, Sudão, Serra Leoa, Togo e Uganda . Além do Brasil, foram encontradas espécimes de *K. senegalensis*, de forma exótica na Austrália, Cuba, Índia, Indonésia, Porto Rico, Singapura, África do Sul e Vietnã (ORWA et al., 2009).

No Brasil, *K. senegalensis* é conhecida como mogno-africano, e a comercialização da madeira atinge preço bastante elevado no mercado, tornando-se excelente investimento a médio prazo (PINHEIRO et al., 2011). O preço FOB da madeira para exportação no Oeste da África, segundo a Internacional Tropical Timber Organization, é de €450 a €460 por m³ (ITTO, 2016) e os custos de implantação e manutenção da cultura são pagos já com as receitas do 6º e 12º ano, sendo que as receitas do 17º e 25º ano produzem uma receita líquida de 140 mil dólares por hectare, sem contar o aproveitamento das sementes que podem ser usadas a partir do 20º ano para formação de mudas (LIMA, 2002).

Os plantios no Brasil e mundo são recentes e em expansão. Na Austrália, um dos primeiros países a ser introduzida, os plantios comerciais em 2007 somavam 1.500 hectares (NIKLES et al., 2008). No Brasil, segundo informação da Associação Brasileira de Plantadores de Mogno Africano, existem hoje mais de 10.000 hectares plantados, com idades de 1 a 7 anos (APBMA, 2016).

Pelo fato dos plantios serem recentes, são carentes de pesquisas na área de nutrição (PINHEIRO et al., 2011). Avaliações preliminares, por meio de levantamentos de plantios comerciais jovens de *K. senegalensis* na Austrália, mostram plantas com sintomas de deficiências de potássio, e que a fertilização potássica promove respostas positivas no seu crescimento (BEVEGE et al., 2006). Esses resultados necessitam ser confirmados por estudos científicos que determinem o nível crítico do nutriente no solo e as doses adequadas de fertilizantes para garantir a produtividade aos plantios comerciais (NIKLES et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi verificar os efeitos da aplicação de doses de potássio no crescimento, concentração de macronutrientes nas folhas e nas trocas gasosas de *K. senegalensis* na fase de implantação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

O experimento foi plantado em de março de 2014 e conduzido até março de 2016 na Fazenda São Gabriel município de Monte Alto – SP. O clima da região é classificado como Cwa - mesotérmico de inverno seco, pelo sistema internacional de Köppen (1948), apresentando temperaturas médias anuais máxima de 28 °C e mínima de 15 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.440 mm, com

85% do total de chuvas concentradas nos meses de outubro a março. A umidade relativa média do ar é de 75% (CEPAGRI, 2015). O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo e relevo suave ondulado (PVA) (OLIVEIRA et al.,(1999). Na Figura 1 mostra a localização do experimento e na Figura 2 estão as médias mensais de temperatura e precipitação medidas de março de 2014 a março de 2016 na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal (SP), que dista 20 km do local do experimento, durante o período de março de 2014 a março de 2016.

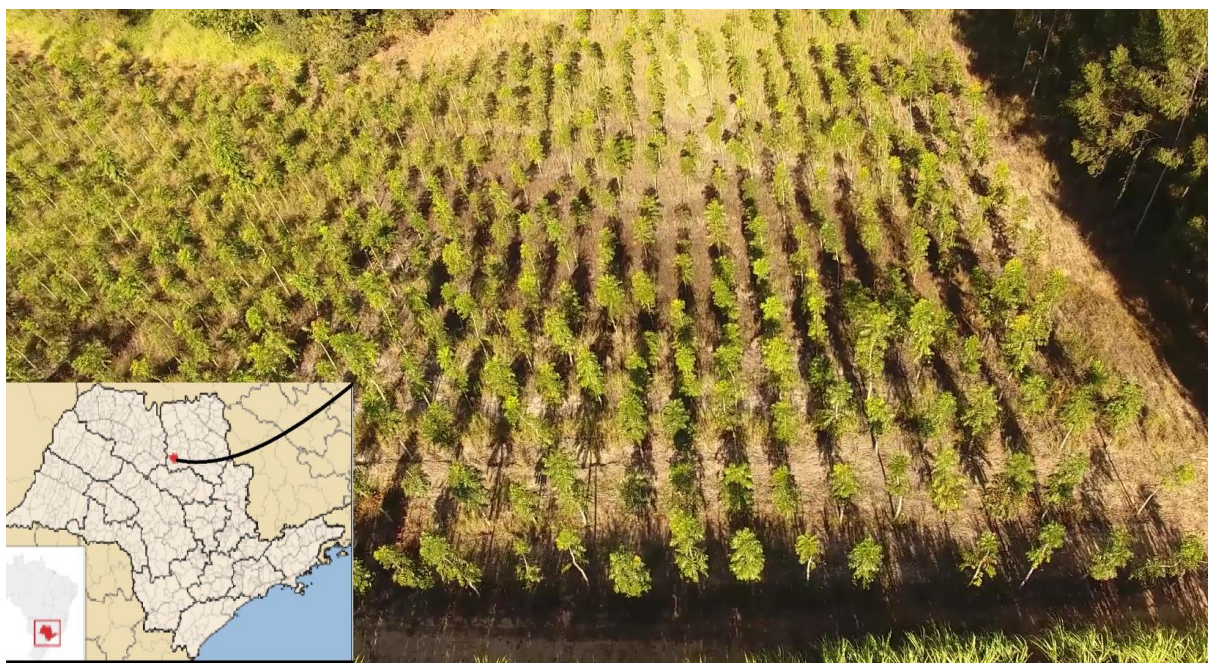


Figura 1. Localização do experimento de aplicação de potássio para a cultura de *Khaya senegalensis*, na Fazenda São Gabriel em Monte Alto - SP, coordenadas 21°17'31,15''S e 48°28'47,85''W. Foto obtida por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) em 20/07/2016 sobreposta à imagem Google Earth de 09/09/16.

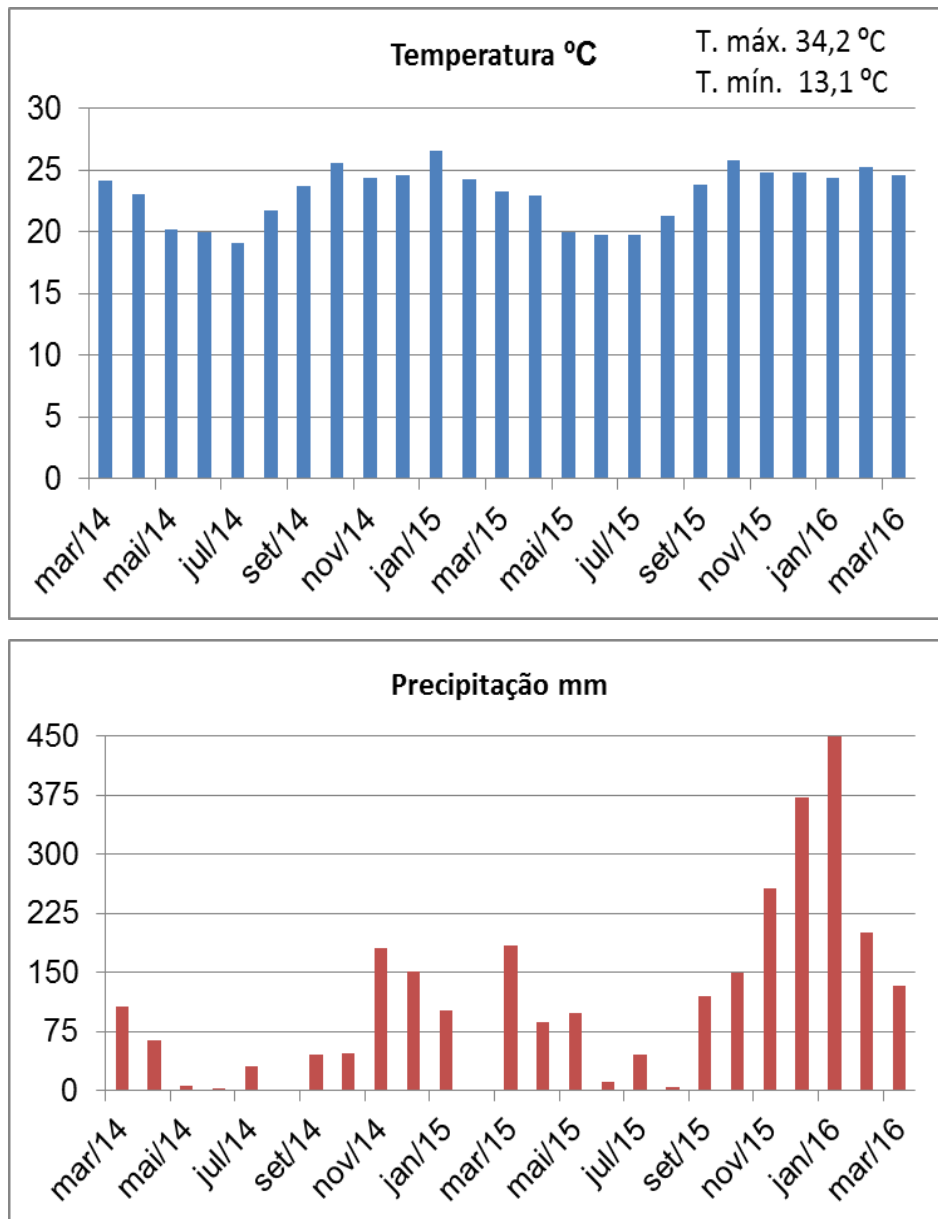


Figura 2. Médias mensais de temperatura, temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação registradas na estação climatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal (SP), que dista 20 km do local do experimento, durante o período de março/2014 a março/2016.

3.2.2 Histórico e preparo da área

A área do experimento permaneceu sem cultivo e adubação por mais de 10 anos. Em fevereiro de 2014, foi feita dessecação das gramíneas na área através da aplicação de glifosato e uma gradagem pesada para incorporação do material vegetal. A área do experimento permaneceu sem uso ou cultivo agrícola por mais de 10 anos. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico petroplântico, abrupto, com horizonte A moderado, textura arenosa/média (EMBRAPA, 2006).

Na área experimental de 3.456 m², foi coletada uma amostra de solo composta, obtida através de 21 amostras simples, coletadas nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm. Nestas amostras foram realizadas análises granulométricas, segundo Camargo et al., (2009), químicas segundo Raij et al. (2001), e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das análises granulométrica e química das amostras de solo, coletadas na camada de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, Monte Alto - SP, 2013.

Profundidade cm	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Classe Textural											
	2-0,20mm	0,20-0,05mm	< 0,002mm	0,05-0,002mm												
----- g kg ⁻¹ -----																
0 - 20	420	410	120	50	Areia franca											
20 - 40	390	440	150	20	Franco arenosa											
cm	MO	pH CaCl ₂	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	H + Al	CTC	V	P resina	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g dm ⁻³		-----mmol _c dm ⁻³ -----						%	mg dm ⁻³						
0 -20	17	4,8	8	5	1,1	14	25	39	36	3	6	0,21	0,4	74	4,5	0,4
20 - 40	12	4,6	7	4	0,9	12	22	44	35	2	8	0,21	0,4	51	3,0	0,2

O calcário, com PRNT 86%, foi aplicado em janeiro de 2014, a lanço em área total e incorporado ao solo com grade para elevar o índice de saturação por bases a 60%. Após 7 dias, foram abertas as covas com 30 cm de largura, 30 de comprimento

e 30 cm de profundidade, no espaçamento de 3 m entre linhas e 2 metros entre plantas.

3.2.3 Tratamento e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de potássio na forma de cloreto de potássio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de K₂O) aplicado, para evitar lixiviação, da seguinte forma, 1/3 de cada dose misturada com a terra da cova no plantio e restante em cobertura aos 3 meses (1/3) e 6 meses (1/3) do plantio em cobertura, distribuídos num raio de 50 cm das plantas.

3.2.4 Produção de mudas, plantio e condução do experimento

As sementes que deram origem às mudas foram importadas de Honduras, cidade de Siguatepe, cuja procedência é a Aldeia de Tiakane, Burkina Faso (África), situada a 11° 11' 10" de latitude norte e 1° 12' 14" de longitude oeste. O clima de Burkina Faso é tropical semi-árido, com altas temperaturas, apresentando valor médio anual de 30 °C, e evapotranspiração potencial anual de aproximadamente 2.000 mm. Apresenta estação seca longa, de outubro a maio, e período chuvoso curto compreendido entre os meses de julho e setembro (COUTERON; KOKOU, 1997), na Aldeia de Tiakane, a quantidade anual de chuvas não passa de 914 mm anuais (CLIMATE-DATA, 2016). Os recipientes usados na formação da muda foram tubetes de plástico, com volume de 120 cm³, contendo substrato Plantmax Florestal®, sendo incorporado ao substrato de cada tubete, 1,2 g de Osmocote Plus®. Aos 40 dias da semeadura, as mudas foram transferidas para área a pleno sol, aumentou-se o espaçamento entre elas e mantendo a irrigação por 10 minutos a

cada hora foi mantida. A partir de 62 dias da sementeira, iniciou-se a rustificação, diminuindo o tempo de cada irrigação para 7 minutos a cada hora.

As mudas com 30 cm de altura média e 5 mm de diâmetro médio de coleto, foram plantadas no espaçamento 3 m x 2 m, no dia 01 de março de 2014. Cada parcela, com 216 m², foi formada por seis plantas em seis linhas de plantio, totalizando 36 plantas por parcela. As avaliações foram feitas nas 16 plantas centrais, descontando-se a bordadura simples, o que resultou em uma área útil de amostragem de 96 m² por parcela. Após o plantio, foi adicionada cobertura morta com grama seca na coroa das mudas para manutenção da umidade do solo e, na ausência de chuvas, foram realizadas irrigações com uso de tanque pipa e trator, adicionando-se cerca de 5 L de água por planta até o completo pegamento das mudas.

Todos os tratamentos receberam uma adubação básica de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ misturado junto com a terra da cova e 60 kg ha⁻¹ de N com uso de sulfato de amônio de forma parceladas da seguinte forma: 1/3 no plantio misturado com a terra da cova e 2/3 divididos aos 3 e 6 meses do plantio, em cobertura, num raio de 50 cm da planta.

Durante a condução do experimento de campo, nos primeiros 15 dias foi realizado o replantio das mudas mortas e durante todo o período do experimento foi realizado o combate a formigas cortadeiras, capinas manuais nas linhas de plantio e mecânicas nas entre linhas, podas de condução e manutenção de aceiros para prevenção a incêndios.

3.2.5 Avaliações e análises estatísticas

Foram feitas avaliações de altura e de diâmetro do caule das plantas aos 12, 18 e 24 meses de idade, sendo que, o diâmetro foi medido a 1,3 m de altura do solo (diâmetro à altura do peito - DAP). Para determinar as concentrações de macronutrientes nas folhas, aos 12 meses foi obtida amostra composta de aproximadamente 200 g de folhas por parcela, coletadas do terço superior e dos quatro pontos cardeais das copas de quatro árvores médias dentro da área útil da parcela. As amostras compostas foram lavadas com água de torneira e com água deionizada. Em seguida, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingir massa constante. Depois foram processadas em moinho de aço inoxidável do tipo Willey, com peneira de 20 mesh, de acordo com as instruções de Bataglia et al. (1983). Posteriormente, uma porção dessas amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, enquanto outra foi submetida a digestão sulfúrica visando à determinação do teor de N. O P foi determinado pelo método da redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974); o K, por fotometria de chama; o Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; o S, por turbidimetria do sulfato (BLANCHAR et al., 1963) e o N foi quantificado pelo método colorimétrico de Nessler.

Foram feitas avaliações de condutância estomática, transpiração e fotossíntese aos 12 meses. As avaliações foram realizadas entre 8h e 11h da manhã, medindo-se três folhas do terço superior da copa e do ramo das três plantas centrais da parcela. As trocas gasosas foram registradas pelo uso do IRGA (Infra-

Red Gas Analyser – modelo LCpro-SD da ADC BioScientific), usando temperatura e umidade ambiente, concentração de CO₂ fixada em $380 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (FFFA) de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondente a 80% do valor máximo de fotossíntese obtido em teste preliminar.

A partir dos resultados médios de fotossíntese e condutância estomática foi estimada a eficiência do uso da água (EUA), com o uso da equação: $\text{EUA} = \text{fotossíntese}/\text{condutância estomática}$

Os dados das características avaliadas em função das doses de potássio foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Os efeitos das doses de potássio nas características da planta foram estudados por equações de regressão polinomial.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito das doses de potássio no crescimento em altura e diâmetro das plantas até os 24 meses de idade (Tabela 2). Os resultados sugerem que a quantidade de K⁺ trocável presente no solo originalmente de $1,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ presente originalmente, mesmo sendo considerada baixa para outras culturas (GONÇALVES et al., 1996), tenha sido suficiente para o crescimento inicial da espécie.

TABELA 2. Médias e resumo das análises de regressões de altura e diâmetro à 1,3 m do solo (DAP) de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de Potássio aos 12, 18 e 24 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de K (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	Idade					
	12 meses		18 meses		24 meses	
	Altura (m)	DAP* (cm)	Altura (m)	DAP (cm)	Altura (m)	DAP (cm)
0	1,92	2,41	2,58	2,79	3,73	5,16
30	2,05	2,71	2,88	3,37	3,97	5,58
60	2,09	2,60	2,78	3,49	3,94	5,67
90	1,93	2,38	2,70	3,43	3,84	5,31
Causas de Variação	Teste F					
	12 meses		18 meses		24 meses	
	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Diâmetro (cm)
Regressão Linear	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Regressão Quadrática	1,56 ^{ns}	2,01 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Regressão Cúbica	0,04 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}
CV %	11,94	14,53	12,09	24,15	9,96	13,69

CV = Coeficiente Variação. ^{ns} = não significativo. *Diâmetro à Altura do Peito a 1,30 m solo.

Perez et al. (2016), trabalhando com plantas de *K. senegalensis* em vasos e concentração de 1,0 mmol_c dm⁻³ no solo, também não obtiveram respostas de crescimento com aplicações de 0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³ de K₂O em seis meses de cultivo. Plantas jovens de eucalipto também requerem pouco potássio e solos com níveis de K⁺ trocável de 0,51 mmol_c dm⁻³ são suficientes para o crescimento inicial das mudas (BARROS; NOVAIS, 1990), sendo que, para grande parte das espécies do gênero *Eucalyptus*, aplicações de potássio em solos em que a concentração não ultrapassa 1,0 mmol_c dm⁻³, não geram respostas consistentes de crescimento (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Outra explicação para a não resposta de crescimento da planta em função das doses de potássio, seria a de que a planta pode ter conseguido absorver o potássio da forma não trocável do solo, a exemplo do que ocorre em outras culturas (CHIBA et al., 2008; CASTILHOS; MEURER, 2002). Formas de potássio tidas como de baixa mobilidade no solo, podem ser redistribuídas em função da mineralogia e variações da disponibilidade hídrica, atendendo às necessidades da planta (CHIBA et al., 2008).

No presente experimento, apesar do crescimento não ter sido alterado, houve tendência de aumento de altura e diâmetro em relação ao tratamento de omissão de potássio, o que pode no futuro, se tornar significativo com o crescimento da plantas.

Os efeitos favoráveis do potássio no crescimento de *K. senegalensis* parecem se intensificar com o tempo, e isso ficou demonstrado em experimento no campo de omissão de nutrientes, realizado na Austrália, onde o solo apresentava concentração de $0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ trocável. O tratamento completo foi feito através da aplicação no solo de 214 kg ha^{-1} de N; $192,36 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 ; $150,57 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O ; 87 kg ha^{-1} de S e 174 kg ha^{-1} de Ca. Aos dois anos de idade, nos tratamentos de omissão de fósforo e potássio, houve um crescimento menor em altura de 1,35 metros e 0,50 m, respectivamente, em relação ao tratamento completo. Em nova avaliação aos seis anos a diferença foi de 2,30 metros para fósforo e 0,80 metros de altura para potássio. A partir do sexto ano, foi avaliado somente o DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) das plantas e, aos seis anos a diferença entre a omissão e o tratamento completo foi de 3,80 cm e 0,50 cm de DAP para fósforo e potássio respectivamente. Aos doze anos, a diferença foi de 4,80 cm e 2,70 cm de DAP para fósforo e potássio, respectivamente (BEVEGE et al., 2006). Esses autores

concluíram que a omissão de fósforo é mais limitante que a de potássio para o crescimento da espécie, e os efeitos do potássio no crescimento são mais evidentes aos 6 anos para a altura e 12 anos para diâmetro, o que pode explicar este experimento ainda não apresentar resultados significativos de crescimento aos 24 meses de idade.

Este efeito tardio do potássio se verifica, de maneira geral, também em espécies de *Eucalyptus*, e incrementos no crescimento tem sido significativos em idades mais avançadas do reflorestamento quando a necessidade de potássio aumenta com o acúmulo de biomassa (BARROS; NOVAIS, 1990).

Existem vários fatores que afetam a disponibilidade de potássio às plantas dentre eles, a disponibilidade hídrica do solo (CHIBA et al., 2008). A fase líquida do solo é o meio onde ocorre o movimento do cátion K^+ até a superfície das raízes. Dessa forma, o conteúdo de água no solo afeta o contato do potássio com a raiz, assim como sua absorção. Geralmente a absorção de potássio ocorre por difusão (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, a umidade do solo é determinante na taxa de absorção de potássio pelo vegetal (KANT; KAFKAFI, 2002; PRADO, 2008). Na região de origem, *K. senegalensis* ocorre naturalmente em regiões com chuvas que variam de 700 a 1.750 mm por ano e estação seca de 4 a 7 meses e vários tipos de solo (JOKER; GAMÉNÉ, 2012). Isto confere a espécie ampla adaptação fisiológica e genética (ORWA et al., 2009). A média anual de chuvas no experimento foi de 1.422 mm ano^{-1} (UNESP, 2016), 64% maior do que ocorre na região de procedência das sementes, que é de 914 mm ano^{-1} (CLIMATE-DATA, 2016). Essa quantidade maior de chuvas ocorrida no experimento atende a necessidade hídrica da planta e deve ter favorecido a disponibilidade de potássio no solo às plantas e contribuído para o

bom crescimento de todas as plantas do experimento, sendo uma possível explicação para não ter havido diferença entre as doses de potássio aplicadas. As plantas bem nutridas em potássio apresentam bom mecanismo de controle de abertura e fechamento estomático que lhes confere um melhor uso eficiente da água (MENGEL; KIRKBY, 1978; MALAVOLTA et al., 1997) atenuando os efeitos negativos da restrição hídrica nos períodos de menor pluviosidade, de maio a setembro (Figura 2).

A importância de diferentes níveis de umidade no solo (100, 80, 60, 40, 20 e 0% da evapotranspiração) para plantas de *K. senegalensis* foi estudada através de experimento em vasos. Após 120 dias da germinação, as plantas foram submetidas diariamente, durante 12 dias, a seis tratamentos de umidade no solo e, após esse período, obteve-se os seguintes resultados: diâmetro do caule, altura, número de folhas e biomassa das plantas aumentaram linearmente com os teores de umidade no solo. Plantas irrigadas diariamente com 100% da evapotranspiração foram 74% maiores do que plantas com 0% de água. As plantas que estiveram sob restrição hídrica apresentaram alto controle de abertura estomática, diminuição da transpiração, redução da clorofila total das folhas e aumento do sistema radicular, concluindo os autores que a espécie apresenta mecanismos fisiológicos de ajustes contra a perda de água e apresenta tolerância moderada ao déficit hídrico (MATOS et al., 2016).

Com o objetivo de analisar se o potássio atenuaria os efeitos negativos da restrição hídrica, foi realizado experimento em vasos com *K. senegalensis* (PEREZ et al., 2016), e foi usado o mesmo Argissolo da Fazenda São Gabriel da área do presente experimento de campo ($0,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K^+ trocável). Foram aplicadas

cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³ de K₂O) em duas condições de disponibilidade hídrica (30 e 70% da capacidade de retenção de água do solo). Após seis meses de condução houve maior crescimento das plantas em altura, diâmetro de caule, área foliar e matéria seca dos componentes da planta a 70% de umidade em relação às plantas submetidas a 30% de umidade. Apesar do potássio não ter aumentado o crescimento, ele atuou diminuindo os efeitos negativos da restrição hídrica, pois aumentou a eficiência do uso da água, a biomassa de folhas e diminuiu a relação raiz/matéria seca total da parte aérea em plantas de *K. senegalensis* submetidas à restrição hídrica (30% de umidade) aos 6 meses de idade.

Com relação às concentrações de macronutrientes nas folhas aos 12 meses após o plantio, houve alterações significativas das concentrações de nitrogênio, magnésio e fósforo nas folhas em função das doses aplicadas de potássio (Tabela 3 e Figura 3).

TABELA 3. Médias de concentrações de macronutrientes nas folhas de *Khaya senegalensis* e resumo das análises de regressões em função das doses de potássio aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de K (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	K folha (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
0	19,98	1,65	13,66	17,48	2,97	2,47
30	21,90	1,52	14,84	16,69	1,99	2,61
60	22,64	1,56	15,49	15,96	2,22	2,38
90	21,35	1,42	14,36	16,04	2,17	2,31
Causas de Variação	Teste F					
Regressão Linear	2,90 ^{ns}	7,83*	1,41 ^{ns}	0,51 ^{ns}	7,50*	1,80 ^{ns}
Regressão Quadrática	6,36*	0,01 ^{ns}	4,89 ^{ns}	0,08 ^{ns}	6,74*	0,84 ^{ns}
Regressão Cúbica	0,09 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,54 ^{ns}	1,05 ^{ns}
CV %	5,91	6,77	7,15	19,13	17,47	9,61

CV = Coeficiente de Variação. ^{ns} = não significativo (p > 0,05); (*) significativos (p ≤ 0,05)

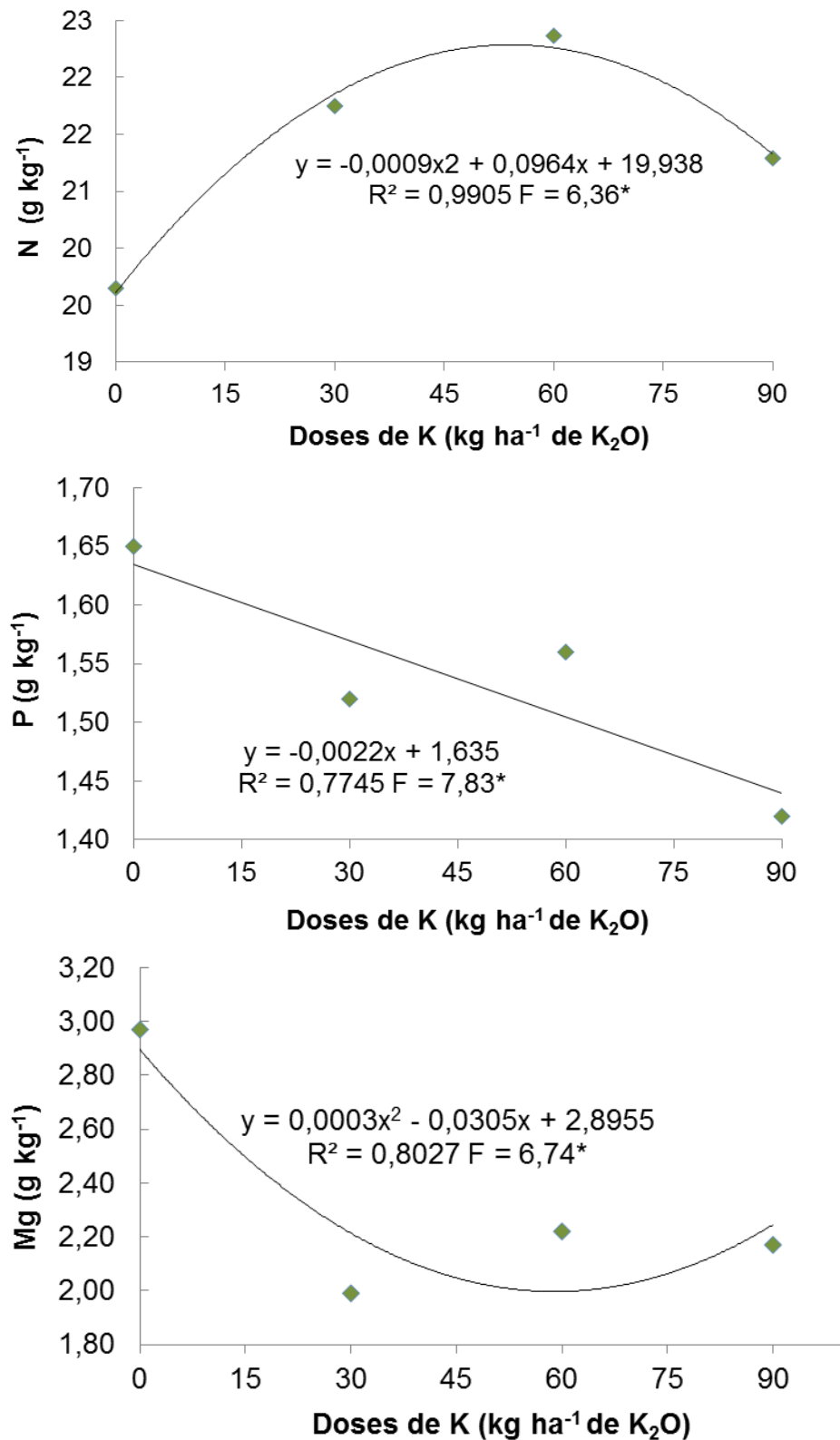


FIGURA 3. Concentração de nitrogênio, fósforo e magnésio nas folhas de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de potássio aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

A omissão de potássio em casa de vegetação (NOWBOWSHI, 1982) e em campo (BEVEGE et al., 2006) causaram diminuições nas concentrações de potássio nas folhas. Também o aumento de doses de potássio no solo (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³ de K₂O) causou aumento linear na concentração de potássio nas folhas (PEREZ et al. 2016). Esses trabalhos mostram que tanto omissão, quanto fertilização com potássio em *K. senegalensis* são acompanhados por diminuições e aumentos da concentração do nutriente nas folhas, sendo que, no presente trabalho, não houve efeito significativo.

A omissão de potássio no solo também é acompanhada de um efeito secundário de alteração na concentração de outros nutrientes nas folhas, e como no presente trabalho, Nowbowshi (1982), notou acumulação de fósforo e magnésio nas folhas.

As variações de concentrações dos macronutrientes (Tabela 3 e Figura 3) foram adequadas quando comparadas com as concentrações obtidas em plantios de *K. senegalensis* na Austrália (BEVEGE et al., 2006).

Com relação à transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea no uso da água das plantas de *K. senegalensis* aos 12 meses de idade (Tabela 4), não houve efeito das doses de potássio, porém, houve redução linear na eficiência instantânea do uso da água instantânea (Figura 4).

TABELA 4. Médias e resumo das análises de regressão de transpiração, condutância estomática e fotossíntese de *Khaya senegalensis* em função das doses de potássio aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Doses de K (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)	Características			
	<i>E</i>	<i>gs</i>	<i>A</i>	EUA _{inst}
0	3,60	0,21	11,66	55,86
30	3,52	0,22	11,91	55,85
60	3,74	0,24	11,82	50,33
90	3,74	0,24	11,69	51,40
Causas de Variação		Teste F		
Regressão Linear	0,52 ^{ns}	4,44 ^{ns}	0,00 ^{ns}	5,65*
Regressão Quadrática	0,06 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Regressão Cúbica	0,35 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,45 ^{ns}
CV %	10,49	10,25	3,99	9,10

^{ns} = não significativo ($p > 0,05$); (*) significativo ($p < 0,05$); *E* - transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *gs* – condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *A* - taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); EUA_{inst} -eficiência instantânea no uso da água ($\mu\text{mol mol}^{-1}$).

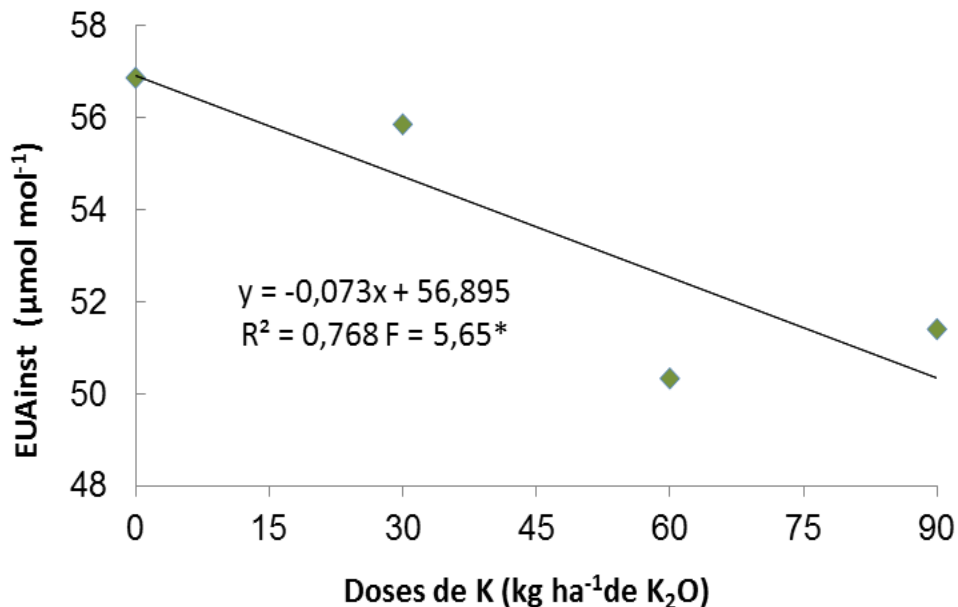


Figura 4. Eficiência do Uso da água Instantânea de plantas de *Khaya senegalensis* em função das doses de potássio aos 12 meses de idade, Monte Alto – SP, 2016.

Apesar de *K. senegalensis* ser moderadamente tolerante ao déficit hídrico (MATOS et al., 2016), quando o solo se encontra em situação de restrição hídrica, ocorre diminuição do crescimento das plantas, diminuição da transpiração, diminuição da condutância estomática, diminuição da taxa fotossintética e aumento da eficiência do uso da água (PEREZ et al., 2016). O potássio é fundamental para que a planta apresente maior eficiência do uso da água, pois esse nutriente está associado às características que interferem na eficiência do uso da água, como a regulação da turgidez, abertura e fechamento estomático e controle da transpiração (NELSON; MOTOVALLI; NATHAN, 2005). No presente caso, o esperado seria que o potássio aumentasse a eficiência do uso da água, por meio de um melhor controle de abertura e fechamento estomático. O comportamento ocorrido no presente caso, pode ser entendido como uma não resposta da planta à aplicação da adubação potássica em razão das condições hídricas do solo estarem atendendo as necessidades fisiológicas da planta no momento das medições. A estação chuvosa (março), quando foi realizada a avaliação das trocas gasosas, pode ter influenciado o status hídrico da planta, favorecendo a manutenção da fotossíntese, condutância estomática e a transpiração, justificando o não aumento da eficiência do uso da água no instante da avaliação.

3.4 CONCLUSÕES

- 1- Nas condições do experimento, com concentração de $1,1 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ de K^+ trocável no solo, na fase de implantação até os 24 meses de idade, não é necessária a adubação potássica para o desenvolvimento de *Khaya senegalensis*.
- 2- *Khaya senegalensis* é pouco exigente em potássio na fase inicial de crescimento, desde que as demais necessidades nutricionais sejam atendidas.

3.5 REFERÊNCIAS

ABPMA. Associação Brasileira de Produtores de Mogno Africano. ***Khaya Ivorensis***.

Disponível em: <<http://abpma.org.br>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. (Boletim Técnico, 78).

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. cap. 4, p. 127-186.

BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, Madison, v.29, p.71-72, 1963.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.

BEVEGE, D. I. et al. Selecting soils and managing nutrition for *Khaya senegalensis*. Where to from here with R&D to underpin plantations of high-value timber species in the 'seasonally-dry' tropics of northern Australia? In: THE WORKSHOP TOWNSVILLE IN TOWNSVILLE, 2006, Townsville. Townsville, Queensland. **Proceedings...** Kairi: Private Forestry North Queensland Association, 2006. 1-CD-ROM.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 2009. 77 p. (Boletim Técnico, 106).

CASTILHOS, R.M.V.; MEURER, E.J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 977-982, 2002.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_353.html>. Acesso em: 13 jul. 2016.

CHALMERS, K. J. et al. Evaluation of the extent of genetic variation in mahoganies (Meliaceae) using RAPD markers. **Theoretical and Applied Genetic**, Berlin, v. 89, n. 4, p. 504-508, 1994.

CHIBA, M. K. et al. Potássio nas frações texturais de um Latossolo. **Acta Scientia Agronomica**, Maringá, v. 30, n. 4, p.581 - 587, 2008.

CLIMATE-DATA.ORG – Climate: Tiakane. Disponível em: < <http://en.climate-data.org/location/999743/>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

COUTERON, P.; KOKOU, K. Woody vegetation spatial patterns in a semi-arid savanna of Burkina Faso, West Africa. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 132, n. 2, p. 211-227, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro. 2006. 306 p.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p. 245-259. (Boletim, 100).

ITTO – Internacional Tropical Timber Organization, Tropical Timber Market Report, v. 20, n. 14, p. 1 -23, 2016.

JOKER, D.; GAMÉNE, S. **Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss.** Humlebaek: Danida Forest Seed Center. 2 p. (Seed Leaflet, 66), 2012. Disponível em: <http://curis.ku.dk/portal-life/files/20648230/khayasenegalensis_int.pdf >. Acesso em: 20 jun. 2014.

KANT, S.; KAFKAFI, U. Potassium and abiotic stresses in plants. In: PASRICHA, N. S.; BANSAL, S. K. (Ed.). **Role of potassium in nutrient management for sustainable crop production in India**. Haryana: Potash Research Institute of India: 2002. p. 233-251.

KOEPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LIMA, V. G. **Estudio técnico económico para establecer una plantación de caoba africana (*Khaya senegalensis*)** en el valle del Yeguaré, Honduras . 2002. 42p. (Graduação em Agronomia) – Zamorano Carrera de Desarrollo sócio económico y ambiente, San Antonio do Oriente, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MATOS, F. S. et al. Growth of *Khaya senegalensis* plant under water deficit. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 18, p. 1623-1628, 2016.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Berna: International Potash Institute, 1978. 593 p.

NELSON, K. A.; MOTOVALLI, P. P.; NATHAN, M. Response of no-till soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] to timing of preplant and foliar potassium applications in a claypan soil. **Agronomy Journal**, Madison. v. 97, n. 3, p. 832–838, 2005.

NIKLES D. G. Developing African mahogany (*Khaya senegalensis*) germplasm and its management for a sustainable forest plantation industry in northern Australia: progress and needs. **Australian Forestry**, Yarralumla, v. 71, n. 1, p. 33–47, 2008.

NWOBOSHI, L. C. Indices of macronutrient deficiencies in *Khaya senegalensis*. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 13, n. 8, p. 666-682, 1982.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil**. Brasília:EMBRAPA, 1999.

ORWA C. et al. **Agroforestry Database**: a tree reference and selection guide version 4.0. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Khaya_senegalensis.pdf>. Acesso em 13 jul. 2016.

PEREZ, B. A. P. et al. Potassium doses for African mahogany plants growth under two hydric conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 22, p. 1973-1979, 2016.

PINHEIRO A. L. et al. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mogno-africanos (*Khaya spp.*)**. Viçosa-MG, 2011. 102 p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP 2008. 407 p.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas-SP: IAC, 2001. 285 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 12 p. (Encarte Técnico).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre, Artmed, 2013. 820 p.