



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA**

TIMÓTEO DE CARVALHO SAMPAIO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Acacia mangium* Willd. EM
RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA**

FORTALEZA

2018

TIMÓTEO DE CARVALHO SAMPAIO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Acacia mangium* Willd. EM
RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Monografia apresentada ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Ismail Soares.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S186c Sampaio, Timóteo de Carvalho.

Crescimento e qualidade de mudas de *Acacia mangium* Willd. em resposta à adubação fosfatada / Timóteo de Carvalho Sampaio. – 2018.
43 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Ismail Soares.

1. Acácia-australiana. 2. Espécies florestais. 3. Fósforo. 4. Nutrição de plantas. I. Título.

CDD 630

TIMÓTEO DE CARVALHO SAMPAIO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Acacia mangium* Willd. EM
RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Monografia apresentada ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 22/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ismail Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Lamartine Soares Cardoso de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, que me fez conhecer este caminho e me deu forças para chegar até o final, à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A minha família, por ter estado comigo nesse período, meu pai, José, meu irmão Felipe, e especialmente a minha mãe, Darci, por todo o esforço despendido por mim nesses anos.

Aos meus tios, Cícero e Roseli, por cederem o espaço de sua casa para escrever este trabalho nos momentos em que não era possível fazer em minha casa.

Ao professor Dr. Ismail Soares, por todo o conhecimento repassado durante a bolsa de monitoria e pela sua grande ajuda e paciência que teve comigo como orientador.

Ao professor Dr. Marcos Esmeraldo, por ceder o espaço do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) para realização do experimento.

Aos senhores Antônio José e Tavares, que ajudaram na realização das análises de solo.

Ao Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi, pela compreensão e flexibilização do meu estágio em momentos que precisei.

A Beatriz Pontes Vanderlei, minha colega de monitoria, que muito me ajudou na execução do experimento.

Ao professor Dr. Marcelo Guimarães e a todos do Núcleo de Estudos em Olericultura do Nordeste (NEON), pelos meses em que passamos juntos.

Aos meus amigos, pelas conversas e experiências que tivemos e que me fizeram crescer profissional e pessoalmente.

E a todos os demais que contribuíram de alguma forma para mais esta etapa vencida.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King).

RESUMO

A produção de mudas é uma etapa chave para o sucesso de povoamentos florestais e a nutrição adequada de mudas desempenha um papel fundamental nesse processo. A *Acacia mangium* Willd é uma espécie florestal que se destaca por oferecer múltiplos usos, além de possuir alta taxa de crescimento, porém inexistem informações da resposta dessa planta ao fósforo em condições climáticas semelhantes às do estado do Ceará. Tendo isso em vista, este trabalho destinou-se a avaliar a qualidade de mudas de *A. mangium* submetidas a doses crescentes de fósforo e determinar qual a melhor dose desse nutriente para essa espécie. O experimento foi realizado no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará e conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 6 tratamentos (0, 60, 100, 140, 180 e 220 mg dm⁻³ de P) e 5 repetições, com 6 plantas por unidade experimental. As sementes passaram por um processo de quebra de dormência em água fervente e as plantas foram inicialmente produzidas em casa de vegetação, onde permaneceram por 21 dias e depois foram levadas para canteiros a pleno sol. Ao final do experimento, 95 dias após semeadura, foi feita a coleta e o cálculo dos dados das características morfológicas, altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), razão MSR/MSPA, razão H/DC, relação H/MSPA e índice de qualidade de Dickson (IQD). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias à análise de regressão. As mudas de *A. mangium* apresentaram resposta significativa para todas as características, exceto para a razão MSR/MSPA. Com base na produção de matéria seca, recomenda-se a dose de 67 mg dm⁻³ de P como a mais indicada para a produção de mudas de *Acacia mangium*.

Palavras-chave: Acácia-australiana, espécies florestais, fósforo, nutrição de plantas.

ABSTRACT

The production of seedlings is a key step for the success of forest stands and proper nutrition of seedlings plays a fundamental role in this process. *Acacia mangium* Willd is a forest species that stands out for its multiple uses, besides having a high growth rate, but there is no information on the response of this plant to phosphorus in climatic conditions similar to those in the state of Ceará. This work aimed to evaluate the quality of *Acacia mangium* seedlings submitted to increasing doses of phosphorus and to determine the best dose of this nutrient for this species. The experiment was carried out in the Nucleus of Education and Research in Urban Agriculture (NEPAU) of the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Ceará and conducted in a completely randomized design with six treatments (0, 60, 100, 140, 180 and 220 mg dm⁻³ of P) and 5 replicates, with 6 plants per experimental unit. The seeds underwent a dormancy breaking process in boiling water and the seedlings were initially produced in a greenhouse, where they stayed for 21 days and then were taken to beds exposed to the sun. At the end of the experiment, 95 days after sowing, the data were collected and the data of the morphological characteristics, height (H), collar diameter (DC), number of leaves (NF), root dry weight (MSR), aerial part dry weight (MSPA), total dry weight (MST), MSR/MSPA ratio, H/DC ratio, H/MSPA ratio and Dickson quality index (IQD). The data were submitted to analysis of variance and means to regression analysis. *Acacia mangium* seedlings showed a significant response for all characteristics, except for the MSR/MSPA ratio. Based on the dry matter production, the dose of 67 mg dm⁻³ of P is recommended as the best for the production of *Acacia mangium* seedlings.

Keywords: australian acacia, forest species, phosphor, plant nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Altura da parte aérea das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P	28
Figura 2	– Diâmetro do coleto das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	29
Figura 3	– Relação altura/diâmetro do coleto das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P	30
Figura 4	– Número de folhas mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	31
Figura 5	– Massa seca de raiz das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	32
Figura 6	– Massa seca de parte aérea das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P	33
Figura 7	– Massa seca total das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	33
Figura 8	– Razão massa seca de raiz/massa seca de parte aérea das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	34
Figura 9	– Razão da altura/massa seca de parte aérea das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	35
Figura 10	– Índice de qualidade Dickson das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Análise química do Argissolo Vermelho-Amarelo	25
Tabela 2	– Fontes e doses dos micronutrientes utilizados na adubação do solo	25
Tabela 3	– Quadrados médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), e das relações altura/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca raiz/parte aérea (MSR/MSPA), altura/massa seca parte aérea (H/MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD)	27
Tabela 4	– Valores correspondentes à produção máxima (PM) da massa seca de raiz (MSR), de parte aérea (MSPA) e total (MST), 90% da produção (90% PM), produção da testemunha, doses de P para produção máxima (D _{máx}) e para 90% da produção (D ₉₀) e porcentagem de aumento da produção máxima em relação à testemunha	32
Tabela 5	– Valores médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC), matéria seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro do coleto (RHDC), relação altura/massa seca de parte aérea (RHMSPA), relação massa seca de parte aérea/massa seca de raiz (RMSPAMSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), para mudas de acácia, avaliadas aos 150 dias após a semeadura, em função de doses crescentes de P	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Caracterização de <i>Acacia mangium</i> Willd.	15
2.2	Fósforo no solo e função para as plantas	17
2.3	Importância da adubação fosfatada em espécies florestais	19
2.4	Características para avaliação da qualidade de mudas	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	Caracterização da área	23
3.2	Coleta e análise de solo	23
3.3	Material vegetal utilizado e semeadura	24
3.4	Condução do experimento	24
3.5	Coleta e análise de dados	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Análise de variância	27
4.2	Altura da parte aérea	28
4.3	Diâmetro do coleto	29
4.4	Relação altura/diâmetro do coleto	30
4.5	Número de Folhas	31
4.6	Massa seca	31
4.7	Razão altura/massa seca de parte aérea	34
4.8	Índice de qualidade de Dickson (IQD)	35
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	ANEXO – Médias das características avaliadas	43

1 INTRODUÇÃO

As florestas nativas e os plantios racionais proporcionam diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais para o ser humano. Dentre eles, há a preservação da fauna, o sequestro de carbono, regulação do clima, circulação de renda e a criação de inúmeros produtos, como celulose, energia, móveis e pigmentos.

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a área total de florestas no mundo era de 4 bilhões de hectares em pesquisa realizada em 2010, tendo o Brasil a segunda maior área, com 519,5 milhões de hectares. O gênero *Acacia* é um dos mais cultivados, juntamente com os eucaliptos e pinus, destacando-se a espécie *Acacia mangium* Willd como uma das mais importantes. (TONINI *et al.*, 2010).

A *A. mangium* é uma leguminosa com origem na Oceania que vem sendo aproveitada pela indústria para fins como uso da madeira para construção civil, móveis, celulose e energia, utilização em sistemas silvipastoris e recuperação de áreas degradadas, dada a sua capacidade de associação com bactérias do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos (ROSSI *et al.*, 2003). É uma espécie que possui grande potencial e tem chamado bastante a atenção de pesquisadores e produtores, devido a sua rusticidade, rápido crescimento e a sua capacidade nitrificadora (SMIDERLI *et al.*, 2005).

Com o aumento da exigência de melhores árvores nos plantios e com a elevação dos níveis de desmatamento de áreas nativas, que gera a necessidade de se desenvolver programas de recuperação de áreas degradadas (RADs), é preciso dar uma maior atenção para a etapa de produção de mudas de espécies florestais, a qual é a base para aumentar a eficiência dos plantios e potencializar a recuperação das áreas (FAVALESSA, 2011).

Dentre os fatores que influenciam a produção de mudas, a nutrição desponta como um dos principais responsáveis pela obtenção de maior produtividade e qualidade (SOUZA *et al.*, 2006). A adubação é necessária porque, na maioria das vezes, os substratos não contêm as quantidades necessárias de nutrientes, de modo que as plantas não conseguem ter um crescimento satisfatório e apresentam sintomas de deficiência (BELLOTE & NEVES, 2001).

O fósforo é um dos principais nutrientes mais requeridos pelas plantas e, devido à sua pobreza nos solos das regiões tropicais, é o nutriente que inspira maiores cuidados na fase de produção de mudas (PRADO *et al.*, 2005). Essa pobreza é explicada pela forte interação do elemento com o solo, sofrendo fixação e conseqüente indisponibilidade para as plantas. Com isso, o uso de adubos fosfatados em países como Brasil é acentuado (CECONI *et al.*, 2006).

Tendo em vista a *A. mangium* ser uma espécie de alto rendimento, o seu grande potencial de uso e a escassez de informações a respeito da resposta dessa planta à adubação fosfatada em condições edafoclimáticas semelhantes às do estado do Ceará, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação fosfatada no crescimento e qualidade de mudas de *Acacia mangium* e recomendar uma dose para sua produção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização de *Acacia mangium* Willd.

A *Acacia mangium* Willd pertence à família *Fabaceae*, subfamília *Mimosoidae*, sendo popularmente conhecida no Brasil como acácia-australiana, cássia ou simplesmente acácia. A família *Fabaceae* contém mais de 727 gêneros e 19325 espécies diferentes ao redor de todo o mundo, o que a torna a terceira maior família de angiospermas (Lewis *et al.* 2005).

O gênero *Acacia* possui mais de 1200 espécies botânicas catalogadas, em sua grande parte pioneiras e de rápido crescimento, as quais ocorrem naturalmente em quase todo o mundo, com exceção da Europa e da Antártida (RODRIGUES *et al.*, 2008), sendo a Austrália identificada como o principal centro de diversidade do gênero, dentro do qual se encontra a *Acacia mangium* (ROSSI *et al.*, 2003).

A espécie é nativa das áreas do noroeste do Austrália, de Papua Nova-Guiné e do oeste da Indonésia. Ao longo da década de 60, a *Acacia mangium* foi introduzida em diversos países tropicais com finalidade experimental. No Brasil, foi trazida em 1979 pela Embrapa, por meio do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), que realizou diversos experimentos com a espécie na Amazônia e no estado de Minas Gerais e verificou bom potencial para reflorestamento e recuperação de área degradadas para áreas com condições similares (FERREIRA *et al.*, 1990).

As áreas de ocorrência natural de *Acacia mangium* são relatadas em campos abertos e em margens de florestas de terras baixas. A espécie é heliófita, ou seja, exige alta exposição solar e se desenvolve tanto em ambientes secos quanto em úmidos, no entanto tem melhor desenvolvimento nestes e a precipitação nos locais nativos varia de 1000 a 4500 mm por ano com as temperaturas médias de 12 a 34 °C (ROSSI *et al.*, 2003; BARBOSA, 2002).

A *Acacia mangium* é considerada uma leguminosa perenifólia de grande porte, podendo atingir até 30 m de altura e 90 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) na fase adulta, dependendo do local. Possui uma boa derrama natural e o fuste livre de ramificação até mais da metade de sua altura, inclusive nos indivíduos sem crescimento controlado (FERREIRA *et al.*, 1990).

A copa da árvore é globular quando em ambiente livre, no entanto tende a apresentar-se cônica com o adensamento do espaçamento. Suas folhas são alternas e simples, em ramos verdes e alados organizados espiraladamente, ovalado-lanceoladas ou ovalado-longadas, coriáceas, de pecíolo curto, largas, ápice alongado e com nervuras salientes partindo da base

que têm 12-18 cm de comprimento (INSTITUTO HÓRUS, 2005). Uma singularidade em relação à espécie é o fato de ela possuir folhas compostas somente durante poucas semanas depois da germinação, as quais são posteriormente substituídas pelas folhas simples com borda inteira, conhecidas como filoides, que apresentam maior comprimento e largura (25 e 10cm). Tal fato contribui para diferenciar a *A. mangium* de outras espécies do próprio gênero *Acacia* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1983).

A inflorescência é composta de inúmeras pequenas flores de coloração branca ou creme e dispostas em espigas. As flores são pentâmeras, o cálice tem de 0,6-0,8 mm de comprimento, com lóbulos obtusos, e a corola tem de 1,2-1,5 mm de comprimento. A floração acontece precocemente e dentro de 24 meses após o plantio já há a produção de sementes viáveis (ORWA *et al.*, 2010).

Os frutos são do tipo vagem, espiralados, membranosos e irregularmente enrolados e quando maduras. Têm de 3-5 cm de largura e 7-10 cm de comprimento. Vagens amadurecidas mudam de verde para marrom e se tornam duras e secas. No seu interior estão contidas pequenas sementes pretas e brilhantes, com formas variando de longitudinal, elíptica, ovado a oblongo e dimensões de 3-5 mm por 2-3 mm, as quais ficam pendentes nas vagens maduras anexadas por um arilo alaranjado. Estas sementes são naturalmente dispersadas pelo vento e por pássaros (KULL & RANGAN, 2008; ORWA *et al.*, 2010).

Uma das dificuldades na produção de mudas de acácia é que as suas sementes possuem dormência tegumentar. Tal fato dificulta o reflorestamento, por produzir desuniformidade nas mudas de viveiro, sendo que, para amenizar esse problema, são usados diversos métodos de quebra de dormência. A escarificação química com ácido sulfúrico e o uso de água fervente com curto tempo de exposição tem se mostrado eficientes para a quebra da dormência. (RODRIGUES *et al.*, 2008).

A *Acacia mangium* é uma árvore de alta capacidade de crescimento (6,2 m/ano) que produz madeira de ótima qualidade e de grande valor comercial (SILVA, 2015). A espécie demonstra excelentes resultados em plantios comerciais, o que é devido ao seu alto índice de crescimento, tolerância a solos ácidos e com poucos nutrientes, capacidade para se desenvolver bem em locais em que a competição é severa, relativa tolerância a doenças e boas propriedades da madeira que permitem seu uso para variados fins (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1983).

Em escala comercial, a versatilidade desta espécie é bastante notória, tendo como destinos a produção de lenha, polpa para celulose, movelaria, chapa de fibra de média densidade (MDF), aglomerados, compensados e produção de adesivos (ATTIAS *et al.*, 2014).

Sua madeira é de excelente qualidade, sendo facilmente polida, planada, serrada, colada, pregada e apta a receber tratamentos preservativos (SILVA, 2015). Segundo Rossi *et al.* (2003), o maior potencial da *A. mangium* é na produção de energia, sendo muito usada para esta finalidade, pois sua madeira possui elevado poder calorífico, que é cerca de 4.900 kcal/kg.

Com o devido planejamento, Silva (2015) explicam que a consorciação de animais e outras plantas com *Acacia mangium* tem se mostrado muito vantajosa. Nos primeiros dois anos de plantio pode-se plantar culturas anuais como feijão, milho, soja e amendoim, que anteciparão o retorno do investimento. Quando as árvores estiverem mais altas, pode-se explorar a pecuária, obtendo produção de carne e leite.

De acordo com Tonini *et al.* (2010), outra possibilidade de uso concedida pela *A. mangium* é a possibilidade de produção de mel nos plantios durante o ano todo. Isso se deve ao fato da espécie produzir, além de uma florada abundante, nectários extraflorais que levam a uma exuberante produção de néctar. Em condições favoráveis, a produção chega a ser muito maior do que a de colônias situadas em locais de vegetação natural, podendo em alguns casos passar de 100 kg de mel/colônia/ano.

O plantio de *Acacia mangium* é garantia de segurança para o investidor, pois atende a reposição florestal cobrada pela legislação, protege áreas da erosão, recupera solos degradados e contribui para a manutenção das nascentes e fontes de água, bem como se constitui como um patrimônio de fácil e rápida liquidez.

2.2 Fósforo no solo e função para as plantas

De acordo com Raiji (1991), o fósforo é, dentre os três principais macronutrientes, o menos exigido pelas plantas. No entanto, ele tem grande importância para o metabolismo vegetal, pois faz parte do conjunto dos nutrientes essenciais, sem os quais a planta não completa o seu ciclo de desenvolvimento (TAIZ *et al.*, 2017).

Os solos brasileiros, considerando a profundidade de 0 a 20 cm, possuem teor de fósforo que varia de 0,005 a 0,2%, o que significa 110 a 4400 kg/ha (MALAVOLTA, 2006). No que se refere aos solos do semiárido brasileiro, eles contêm baixos teores de P, o qual se constitui em um dos elementos mais limitantes para a produtividade das culturas nessa região (PEREIRA *et al.*, 1998).

No solo o fósforo pode ser encontrado na fase líquida, isto é, livre na solução do solo, em concentrações menores que $0,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ou $2 \mu\text{M}$ (TAIZ *et al.*, 2017), e também na fase sólida, adsorvido nos colóides ou complexado com os oxihidróxidos de Fe e Al, em caso de

pH ácido, com o cálcio, em pH alcalino, e também com a matéria orgânica (MALAVOLTA, 2006). O fósforo na solução do solo ou fracamente adsorvido é chamado de P lábil, responsável por repor o nutriente rapidamente para a solução do solo quando ele é absorvido pelas plantas ou micro-organismos, porém o seu teor diminui à medida que o solo envelhece. Com isso, aumenta a participação e interação do P orgânico e dos processos biológicos, que tendem a ter grande influência na disponibilidade do elemento para as plantas (PAVINATO & ROSOLEM, 2008; SANTOS *et al.*, 2008).

A mobilidade do fósforo no solo é muito baixa, assim, sua absorção pelas plantas se dá quase exclusivamente por meio da difusão, em que o nutriente percorre curtas distâncias numa fase aquosa estacionária, indo do local de maior concentração, isto é, a solução do solo, para o de menor concentração, a raiz.

Por causa da sua interação com os constituintes do solo, com o Al, Fe e Ca, sua ocorrência em formas orgânicas e sua baixa taxa de difusão na solução do solo, o fósforo é considerado o nutriente menos prontamente disponível na rizosfera. Ainda que sejam utilizados fertilizantes, grande parte do P adicionado é adsorvido aos coloides do solo, ficando indisponível com o passar do tempo, devido a formação de compostos de baixa solubilidade, sem contribuir para a produção vegetal da maneira esperada (FERNANDES *et al.*, 2000). Considerando esses aspectos, que dificultam a absorção do nutriente pela planta, recomenda-se que a fertilização fosfatada seja feita de forma localizada, o mais perto possível das raízes.

Segundo Malavolta (2006), a principal forma de absorção é o $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$, considerando condições em que o pH do solo ou substrato sejam menores que 7,0 ou pouco acima disso. A concentração de fosfato nas raízes e na seiva do xilema é de 100 a 1000 vezes maior que na solução do solo, assim, a absorção é ativa, pois ocorre contra um forte gradiente de concentração. A fonte de energia para propiciar essa absorção provém da bomba de extrusão de prótons, que gera um gradiente eletroquímico pela retirada de H^+ da célula, o qual transporta os fosfatos para dentro dela. (ULRICH-EBERIUS *et al.*, 1981)

A principal função do fósforo na planta está relacionada ao seu papel essencial desempenhado no metabolismo energético. O elemento compõe a adenosina trifosfato (ATP), o mais importante composto armazenador de energia utilizada nos processos endergônicos. Além de estar no ATP, o fósforo está na composição dos fosfolipídios das membranas celulares, nos nucleotídeos DNA e RNA, responsáveis por carregar a informação genética e pela síntese de proteínas, promove o desenvolvimento das raízes primárias e compõe mais de 50 compostos de ésteres simples de grande importância, como a glicose-6-P e a frutose-6-P (MALAVOLTA, 2006; TAIZ *et al.*, 2017).

2.3 Importância da adubação fosfatada em espécies florestais

Um solo fértil é aquele capaz de propiciar condições para a planta crescer e se desenvolver, o que implica que, com os demais fatores constantes, a fertilidade está relacionada com os teores dos elementos essenciais (MALAVOLTA, 2006), evidenciando, assim, a suma importância da adubação mineral. Com relação à adubação fosfatada em espécies florestais, têm sido notadas respostas significativas ao seu emprego, principalmente em solos com deficiência de fósforo, bastante comuns no Brasil (RESENDE *et al.*, 1999).

Estudando a aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd, Daniel *et al.* (1997) verificou que elas responderam significativamente ao fornecimento de adubação fosfatada. Especialmente até a dose de 400 g m⁻³ de P₂O₅, houve alto incremento em todas as variáveis medidas, a saber, altura, diâmetro do colo, comprimento das raízes e matéria seca de raízes e parte aérea. Doses maiores que 400 g de P₂O₅ por m³ foram recomendadas somente caso a intenção seja obter mudas que tendam a ter a parte aérea mais avantajada em relação ao sistema radicular, pois ela já se mostrou suficiente para produzir plantas com diâmetro do colo adequado.

Pereira *et al.* (1996), em estudo para avaliar a influência de micorriza arbuscular e do suprimento de fósforo na resposta de *Acacia mangium*, constatou que a acácia adubada com P apresentou maiores teores de N, P, Mg, Zn e Mn, independentemente de ter ou não recebido adubação nitrogenada. O teor de proteína solúvel nas folhas das plantas adubadas com P também foi significativamente maior naquelas que não receberam adubação nitrogenada.

Em experimento com intuito de avaliar os efeitos de doses distintas de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida*), também pertencente à família *Leguminosae*, Schumacher *et al.* (2004) constataram influência positiva na utilização da adubação fosfatada até determinada dose, depois da qual se tornou negativa. O estudo revelou que não houve uma única dose em que as características avaliadas alcançassem eficiência máxima, porém a maioria delas foi melhor na dose de 450 mg kg⁻¹ de P. A importância do uso de adubados fosfatados para a elevação na produtividade foi ressaltada, visto que houve uma resposta significativa às doses aplicadas, mesmo o solo utilizado não sendo pobre em fósforo.

A adubação fosfatada também contribui para o crescimento e obtenção de mudas de cássia-rosa (*Cassia grandis* Linnaeus f.) de melhor qualidade, sendo a dose de 600 mg dm⁻³ numa saturação por base de 25% a que apresentou o maior índice de qualidade de Dickson (IQD), considerado um dos mais importantes indicadores para avaliação de mudas (FREITAS

et al., 2017).

Mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio e fósforo mostraram maior crescimento nas doses de 62,46 mg kg⁻¹ de N e 125,16 mg kg⁻¹ de P₂O₅, no entanto a relação altura/diâmetro (RAD), razão massa seca da parte aérea/massa seca de raiz (RPAR) e o Índice de Dickson permitiram concluir que o fósforo foi o elemento mais importante neste caso (SOUZA *et al.*, 2013).

Os efeitos da fertilização do solo com fósforo apresentaram-se bastante variáveis em mudas de espécies arbóreas nativas avaliadas por Santos *et al.* (2008). Espécies pioneiras tiveram maior eficiência em produzir matéria seca da parte aérea e em absorver o fósforo do que as de clímax, como a aroeira (*Lithraea molleoides*), cuja produção de biomassa foi intimamente relacionada ao acúmulo de P. Já nos casos de aroeirinha (*Shcinus terebinthifolius*), sesbânia (*Sesbania virgata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*), o crescimento não seguiu a tendência de absorção do nutriente e em guanandi (*Calophyllum brasiliensis*) e óleo-bálsamo (*Myroxylon peruiferum*) a absorção do nutriente e o desenvolvimento das plantas foram pouco influenciados pela adubação fosfatada.

Apesar de muitas espécies florestais apresentarem melhora da qualidade das mudas em resposta a doses crescentes de fósforo, existem outras para as quais esse elemento não possui influência significativa. Um dos exemplos é o mogno (*Swietenia macrophylla*), em que a adubação fosfatada não promoveu melhora significativa para nenhuma das características avaliadas, mesmo o solo tendo apenas o teor de 1 mg dm⁻³ de P (TUCCI *et al.*, 2011). Esse baixo potencial de resposta também foi observado em mogno por Wallau *et al.* (2008), pois na omissão de P na solução nutritiva houve somente uma pequena redução no crescimento das mudas.

2.4 Características para avaliação da qualidade de mudas

O sucesso na formação e no desenvolvimento de um povoamento florestal depende de inúmeros fatores, sendo um dos principais a qualidade das mudas utilizadas no plantio (RUDEK *et al.*, 2013). Mudas de alto padrão são mais resistentes a eventuais condições adversas, como escassez hídrica, deficiência nutricional e inconstâncias térmicas, além de proporcionarem um crescimento inicial mais uniforme e com menor taxa de mortalidade nos primeiros anos, o que diminui a frequência dos tratos culturais e a necessidade de replantio e, conseqüentemente, o custo de implantação do povoamento. (CARNEIRO, 1995; GOMES *et al.*, 2002).

O padrão de qualidade varia de acordo com a espécie e, dentro da mesma espécie, de diferentes sítios ecológicos, sendo necessária a adoção de critérios para mensurá-lo. Na avaliação da qualidade são usados atributos de duas naturezas, os morfológicos, que se referem às características fenotípicas e os fisiológicos, que dizem respeito aos seus aspectos internos. Os atributos morfológicos, como altura da parte aérea, diâmetro do colo e a relação entre estes, são os mais utilizados e são definidos física ou visualmente, tendo uma mais fácil compreensão por parte dos viveiristas (GOMES *et al.*, 2002).

A altura da parte aérea é uma característica de fácil mensuração e que não causa dano algum às plantas, tendo sido por um longo tempo o único atributo usado para definir a qualidade das mudas. De acordo com Novaes (1998), é importante destacar que muitos viveiristas costumam exagerar na adubação nitrogenada, buscando obter um maior crescimento em altura, no entanto isso pode não refletir em ganhos de qualidade, pois prejudica as atividades fisiológicas das mudas.

O diâmetro do colo ou coleto é outro atributo não destrutivo bastante utilizado e que pode ser facilmente medido de maneira rudimentar com fita métrica ou com maior grau de precisão com o uso de um paquímetro. É amplamente aceito como confiável pela comunidade acadêmica, sendo possível correlacioná-lo diretamente com a sobrevivência das mudas no campo (CARNEIRO, 1995).

Ao dividir a altura da parte aérea pelo diâmetro do coleto é possível obter um único índice, adimensional, que conjuga duas características importantes e que mostra o equilíbrio de crescimento entre as partes da planta (CARNEIRO, 1985). Segundo Gomes e Paiva (2004), essa relação manifesta o grau de robustez da planta, permitindo saber o quão delgado a muda se encontra, além disso, reflete o acúmulo de reservas, assegura maior resistência e melhor fixação no solo. Mudanças que possuem baixo diâmetro e alturas elevadas tem esse índice baixo e apresentam maior tendência a tombamentos, o que resulta em morte ou perda do valor silvicultural dos indivíduos. (CUNHA *et al.*, 2005).

A produção de matéria seca é tida como um dos mais eficientes indicadores da qualidade das mudas, servindo para prever a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo, apesar de ser de pouco uso em viveiros por ser destrutivo (GOMES, 2001). Ela indica o grau de rusticidade da planta, quanto maior o seu valor, mais rústicas e lignificadas são as mudas, o que melhora a resistência em locais com condições adversas (Gomes & Paiva, 2006). A razão entre as matérias secas da parte aérea e da raiz também é bastante utilizada, pois serve como representação do equilíbrio de crescimento entre as partes das plantas.

Gomes (2001) cita a razão da altura da parte aérea pelo peso da matéria seca da parte aérea como outro possível indicador capaz de estimar o potencial de sobrevivência das mudas no campo, não entanto este não é um método utilizado com frequência.

A área foliar é um indicador que tem sido usado na determinação da qualidade das mudas de algumas espécies florestais, como eucalipto (LOPES *et al.*, 2007) e crindiúva (FONSECA *et al.*, 2002). A determinação da área foliar é um método simples, de fácil execução e que não necessita de equipamentos de alto custo, conhecimentos avançados em matemática nem de destruição das mudas, podendo ser feito através do método dos discos foliares, do método do papel milimetrado ou mesmo do uso de softwares específicos que analisam fotografias (RUDEK *et al.*, 2013).

Por fim temos o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que é um indicador desenvolvido por Alexander Dickson (Dickson *et al.* 1960) que agrega as principais características, que são altura da parte aérea, diâmetro do coleto, da massa seca total, massa seca das raízes e massa seca da parte aérea. O IQD é considerado um bom atributo para avaliar a qualidade das mudas, uma vez que ele leva em conta a robustez e o equilíbrio da distribuição de biomassa na muda (FONSECA *et al.*, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

O experimento foi desenvolvido entre julho de 2017 e janeiro de 2018, no Núcleo de Ensino e Pesquisa e Agricultura Urbana (NEPAU) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado em Fortaleza, Ceará. Geograficamente, o local se encontra na latitude 3°44'16" S e na longitude 38°34'22" W, com altitude 19,6 m.

Conforme a classificação de Koppen (Alvares *et al.*, 2013), o local de estudo possui tipo climático As, referente ao clima tropical, com temperaturas médias elevadas, forte precipitação anual, com chuvas de inverno e com estação seca de verão.

3.2 Coleta e análise do solo

O solo utilizado como substrato para a produção das mudas foi coletado na camada de 0 a 20 cm em uma área da Fazenda Raposa da UFC, localizada no município de Maracanaú, Ceará. As análises físicas e químicas foram realizadas no laboratório da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) no Departamento de Ciências do Solo da própria UFC, seguindo metodologia proposta por Embrapa (1997) e classificou-se o solo como Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura franco arenosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). A análise química consta na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Análise química do Argissolo Vermelho-Amarelo.

pH	CE	Complexo Sortivo					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺
Água	dS m ⁻¹	cmol _c dm ⁻³					
4,6	0,05	0,4	0,4	0,09	0,19	2,97	0,7
SB	t	T	V	M	PST	M.O.	P
cmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
1,08	1,78	4,05	27	39	2	6,62	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 Material vegetal utilizado e semeadura

As sementes de *Acacia mangium* Willd foram obtidas mediante encomenda pela empresa Caiçara Comércio de Sementes LTDA, da safra de 2016. Conforme descrição do comerciante, as sementes possuíam germinação de 70% e pureza de 90%. O peso médio de cada semente foi de 0,016g.

A acácia apresenta dormência tegumentar em suas sementes, o que representa uma dificuldade na produção de mudas em programas de reflorestamento, assim, foi preciso realizar a quebra de dormência, com base no método proposto por Smiderle *et al.* (2005), que se caracteriza por deixar as sementes por um minuto em água fervente, sem posterior imersão em água com temperatura ambiente.

Para a semeadura preparou-se o substrato com uma mistura de composto orgânico e areia lavada na proporção de 2:1, sendo colocado em bandejas de polipropileno de 162 células, contendo 3 sementes cada a uma profundidade de 0,1 cm. Após isso, as bandejas foram transferidas para a casa de vegetação, sendo irrigadas duas vezes ao dia.

Vinte e um dias após a emergência das plântulas, as mudas foram transferidas para sacos de 1 dm³ com cada um dos tratamentos, sendo espaçados entre si, em um canteiro a céu aberto previamente coberto com lona plástica para evitar o crescimento de plantas daninhas. Uma semana após essa transferência, procedeu-se com o desbaste deixando apenas uma planta por saco. A irrigação também continuou sendo realizada duas vezes ao dia. Foram feitos outros tratos culturais, como a eliminação manual de plantas daninhas que cresciam nos sacos e o replantio de mudas que morreram nos primeiros dias.

. 3.4 Condução do experimento

O experimento foi ocorreu nos moldes do delineamento inteiramente casualizado, formado por seis doses de fósforo (0, 60, 100, 140, 180, 220 mg dm⁻³), com cinco repetições. Cada unidade experimental foi formada por seis plantas, totalizando 180 plantas.

De posse da análise de solo, foi realizada a calagem, em que se adicionou 25g de calcário agrícola (33% de CaO e 16% de MgO) e 29g de calcário tubarão (53,2% de CaO) em porções de solo de 32 dm³, fazendo a homogeneização com o auxílio de uma betoneira. O método usado para definir esses valores foi o da elevação da relação Cálcio/Magnésio, nesse caso para 3:1, considerando como os teores contidos na tabela (2). Imediatamente após isso, os solos foram colocados em vasos e incubados com água por 50 dias, mantendo o teor de

umidade em torno de 60% da capacidade de campo, para potencializar a reação do calcário com o solo. Depois desse período, o solo foi exposto ao sol sobre uma lona plástica até secar e passado numa peneira de para diminuir o tamanho dos agregados.

Aproximadamente dois meses após a calagem, fracionou-se o solo seco em porções de 31 dm^3 , que receberam por completo as seguintes doses de fósforo (P): 0, 60, 100, 140, 180 e 220 mg.dm^3 , usando como adubo o superfosfato triplo. A quantidade de nitrogênio (N) foi equilibrada em todos os tratamentos em 120 mg dm^{-3} , com o uso de ureia, sendo aplicada no plantio e parcelada três vezes em cobertura, aos 30, 45 e 60 dias após o plantio.

Simultaneamente à adição de fósforo, foi feita a adubação de base, também em dose única, com a aplicação de 59 mg/dm^3 de potássio na forma de sulfato de potássio (K_2SO_4), 55 mg dm^{-3} de Ca na forma de sulfato de cálcio e micronutrientes conforme especificada na tabela (3). Toda a mistura foi homogeneizada com o auxílio de uma betoneira. Em seguida o solo foi adicionado em sacos de dimensões de 20x30 cm com capacidade para 1 dm^3 .

Tabela 2 – Fontes e doses dos micronutrientes utilizados na adubação do solo.

Fonte	Micronutriente	Dose (mg dm^{-3})
Sulfato de manganês	Manganês	3,6
Sulfato de zinco	Zinco	5,0
Ácido bórico	Boro	0,5
Sulfato de cobre	Cobre	1,5
Molibdato de sódio	Molibdênio	0,15
Fe EDDHA	Ferro	2,5

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Coleta e análise dos dados

A coleta dos dados realizou-se de 8 a 10/01/2018, cerca 95 dias após a repicagem das mudas para os canteiros. Foram contados os números das folhas de cada planta e com o auxílio de uma fita métrica mediu-se a altura da planta (H) e com um paquímetro de precisão de 0,01 mm o diâmetro do coleto (DC). Em seguida, as mudas foram cortadas rente ao solo, sendo a parte aérea armazenadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa de circulação de ar forçada, a 65°C por 72 horas, efetuando a pesagem da massa seca da parte aérea (MSPA). O solo contendo as raízes foi lavado cuidadosamente em água corrente sobre uma peneira de malha fina e depois as raízes foram colocadas em sacos de papel, as quais

foram pesadas após 72 horas em estufa de circulação de ar forçada, obtendo, assim, a massa seca de raiz (MSR). Somando MSPA com MSR, determinou-se a massa seca total (MST).

Com as medições anteriores, calcularam-se as relações altura/diâmetro do coleto (H/DC), razão de massa seca de raiz/massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) e a altura/massa seca de parte aérea (H/MSPA). Também se determinaram as doses de P correspondentes aos pontos de máximo e a 90% da produção máxima. Por fim, calculou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que expressa o equilíbrio funcional entre os diferentes parâmetros (Dickson *et al.*, 1960), conforme a equação a seguir:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)}$$

Em que MST, MSR e MSPA são dados em gramas, H em centímetros e DC em milímetros.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram submetidas à análise de regressão, utilizando-se o software Sistema de Análises Estatística e Genética – SAEG (EUCLYDES, 1997). Na escolha das equações de regressão, consideraram-se a significância dos coeficientes até 10% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância

As características biométricas das mudas de *Acacia mangium* Willd apresentaram efeitos significativos às doses de fósforo, exceto a razão massa seca de raiz/massa seca de parte aérea (Tabela 4).

Tabela 3 – Quadrados médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), e das relações altura/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca de raiz/parte aérea (MSR/MSPA), altura/massa seca parte aérea (H/MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

F.V.	G.L.	H	DC	NF	MSR	MSPA	MST	H/DC	MSR/MSPA	H/MSPA	IQD
TRAT	5	672,561**	6,259**	13,443**	2,021**	20,713**	35,594**	10,761**	0,0515 ^{ns}	123,115**	0,259**
RESÍDUO	24	530,741	4,769	7,678	0,875	11,427	15,963	12,406	0,102	49,282	0,094
CV (%)		14,65	10,58	10,31	14,34	20,40	17,30	9,46	15,90	14,19	13,54

ns = não significativo; ** significativo a 1% pelo teste de F.

Fonte: elaborada pelo autor (2018).

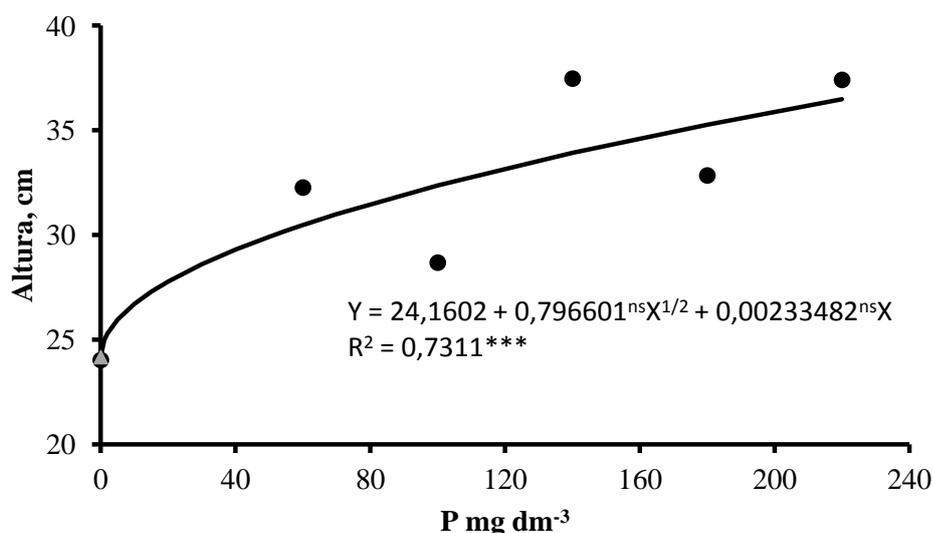
4.2 Altura da parte aérea

A altura da parte da aérea (H) das mudas de *Acacia mangium* teve resposta significativa aos diferentes tratamentos, conforme o modelo raiz quadrático mostrado na figura (1). A maior altura foi de 36,48 cm na dose máxima de 220 mg dm⁻³ de P, e que representa um aumento de 51,91% em relação a testemunha, enquanto que a dose responsável por 90% da máxima produção (D₉₀) foi de 111,6 mg dm⁻³ de P.

Até as doses estudadas, a variável mostrou comportamento de crescimento, demonstrando a importância da adubação fosfatada para essa espécie e que, caso doses mais elevadas fossem aplicadas, a planta potencialmente poderia apresentar incrementos nessa característica. Isso vai ao encontro do que disse Grant *et al.* (2001), que o uso de adubos fosfatados é fundamental para a altura das plantas, uma vez que a deficiência em fósforo reduz a síntese de proteínas e ácidos nucleicos, o que também retarda o crescimento celular.

Em experimentos com mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*), Schumacher *et al.* (2003) encontraram 450 mg dm⁻³ de P como a dose mais adequada para promover o crescimento em altura. Já Resende *et al.* (1999), notaram valores bastantes variados na D₉₀ para altura, como 225,04 mg dm⁻³ para aroeirinha (*Schinus terebinthifolius*), 533 mg dm⁻³ para aroeira (*Lithraea molleoides*) e 842,5 mg dm⁻³ para sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), evidenciando que cada espécie vegetal responde em diferentes graus de intensidade à adubação fosfatada.

Figura 1 – Altura da parte aérea das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



ns = não significativo; *** = significativo a 0,1%, pelo teste de F.

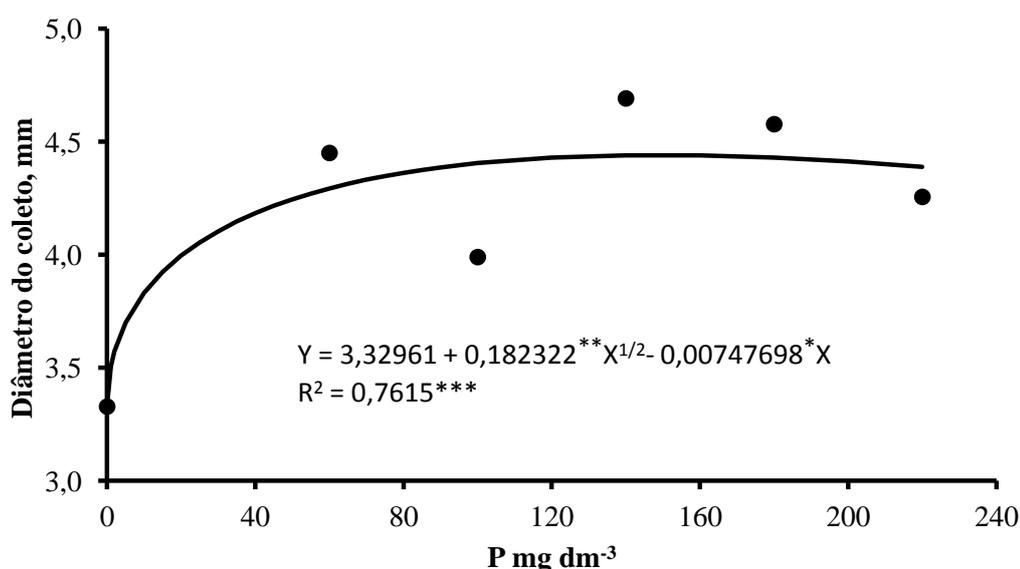
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

4.3 Diâmetro do coleto

A resposta das mudas de *Acacia mangium* para a variável diâmetro do coleto (DC) também se ajustou a uma equação de raiz quadrada, conforme visto na figura (2), sendo o DC máximo de 4,44 mm, obtido na dose de 148,65 mg dm⁻³ de P, o qual representa 33,37% superior ao constatado para o tratamento sem fósforo. Para 90% do diâmetro máximo, 4,00 mm, foi estimada a dose de 20 mg dm⁻³ de P.

O mesmo tipo de comportamento foi constatado por Resende *et al.* (1999) em mudas de aroeirinha, em que 90% da produção máxima foi obtida na dose de 377,35 mg dm⁻³ de P. Já Santin *et al.* (2008) perceberam resposta quadrática para essa característica em mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), com os valores máximos obtidos nas doses de 440 mg dm⁻³ de P. Tal comportamento também ocorreu em mudas de cássia-rosa (*Cassia grandis*), onde foi alcançado um diâmetro de 4,41 mm com 323,93 mg dm⁻³ de P, com saturação por bases de 55%. (FREITAS *et al.*, 2017). Em estudo com mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*), Souza *et al.* (2013) verificaram que há interação significativa entre as adubações com fósforo e nitrogênio, com o maior valor de diâmetro do colo nas maiores doses estudadas, as quais foram 125,16 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 150 mg kg⁻¹ de N.

Figura 2 – Diâmetro do coleto das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



* = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

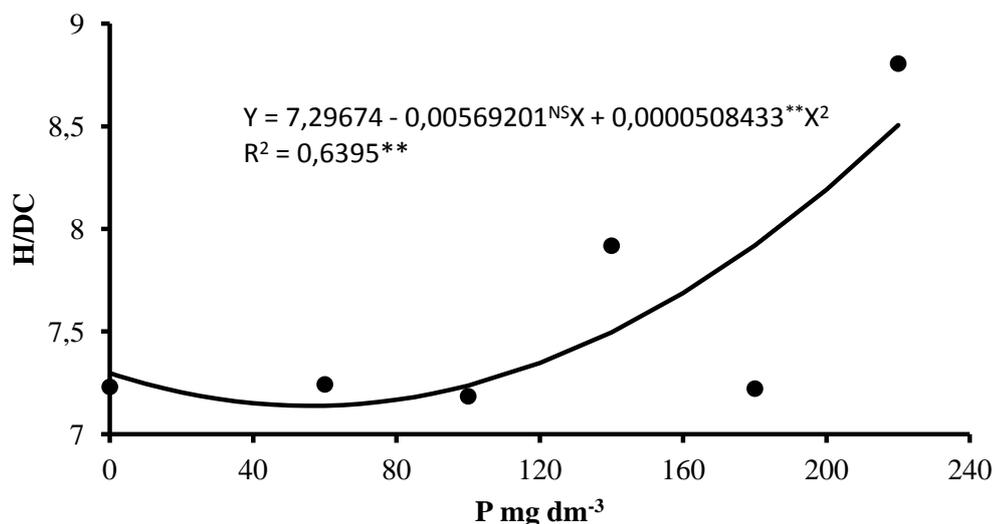
4.4 Relação Altura/Diâmetro do coleto

A *Acacia mangium* mostrou comportamento quadrático para a razão altura/diâmetro do coleto (H/DC), sendo esta maior à medida que as doses dos tratamentos aumentaram, assim, a maior relação ocorreu na maior dose (220 mg dm⁻³ de P) e foi de 8,50, cerca de 16,56% superior a testemunha.

Como visto anteriormente, houve aumentos individuais tanto na altura quanto no diâmetro, assim, diante dessa razão H/DC percebe-se que o aumento das doses de fósforo provoca maiores incrementos na altura da planta do que no diâmetro do coleto. É preciso tomar cuidado no fato que relações H/DC muito altas não são vantajosas, pois, como esse índice expressa o equilíbrio de crescimento entre as partes da planta, elas indicam que a muda está muito delgada, podendo diminuir a fixação no campo (GOMES, 2001).

Esse comportamento é semelhante ao notado por Souza *et al.* (2013) em mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*), porém com o ponto máximo estimado para essa característica (4,89) sendo obtido utilizando doses baixas de nitrogênio (31,5 mg kg⁻¹) e fósforo (20,33 mg kg⁻¹).

Figura 3 – Razão entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto das mudas (H/DC) de acácia em resposta a doses crescentes de P.



ns = não significativo; ** = significativo a 1%, pelo teste de F.

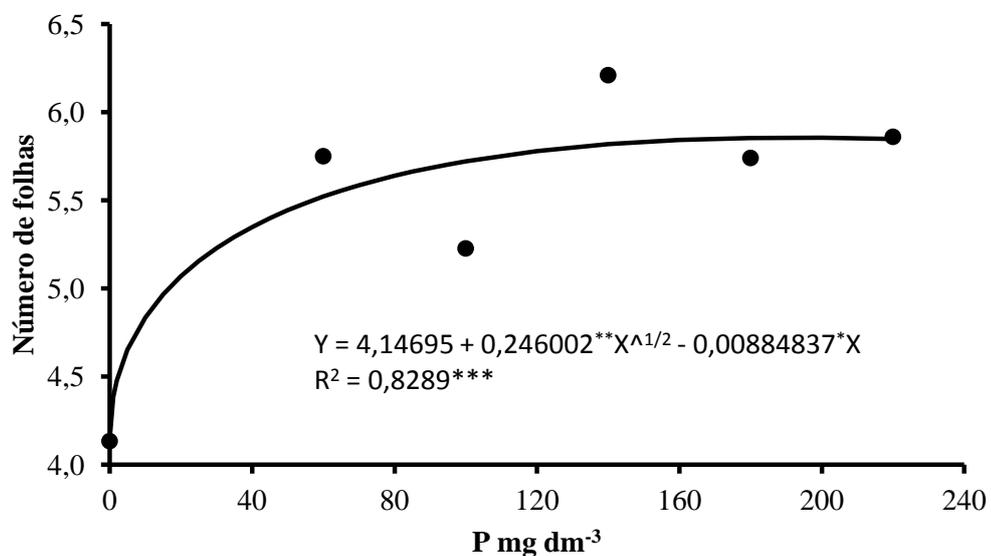
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

4.5 Número de Folhas

O número de folhas também foi significativo e se ajustou pelo modelo de raiz quadrada (figura 4), com o número máximo de folhas estimado em 5,86 folhas/planta para a dose de 193,24 mg dm⁻³ de P, o qual é 41,81% superior testemunha. Já a dose que proporcionou 90% da produção máxima (5,27 folhas/planta) foi de 33 mg dm⁻³ de P, muito abaixo da dose máxima. É importante destacar que o aumento do número de folhas não implica necessariamente em maior área fotossintética, porém propicia condições para isso.

Resultados que favorecem o número de folhas em mudas também foram encontrados para outras plantas, como tamarindeiro (FERREIRA *et al.*, 2008) e gravioleira (Souza *et al.*, 2003). Russowski & Teixeira (2003) verificaram o mesmo comportamento em mudas de giseng brasileiro (*Pfaffia glomerata*), com o destaque de que o fósforo influenciou mais o número de folhas do que o nitrogênio.

Figura 4 – Número de folhas das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



* = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

4.6 Massa seca

A espécie estudada apresentou resposta significativa ajustada ao modelo raiz quadrático para as variáveis massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST), conforme demonstrado nas figuras (5), (6) e (7). Os dados relativos a

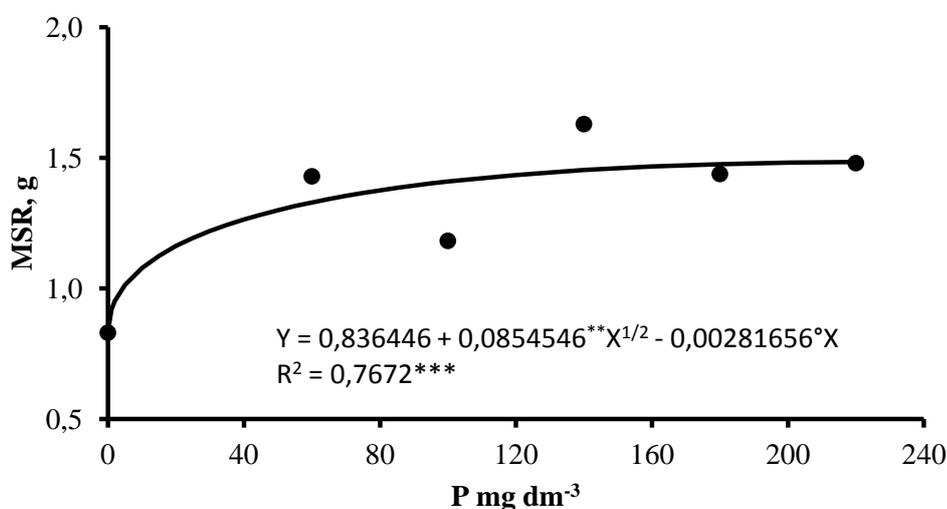
essas características estão apresentados na tabela (5).

Tabela 4 – Valores correspondentes à produção máxima (PM) da massa seca de raiz (MSR), de parte aérea (MSPA) e total (MST), 90% da produção (PM₉₀), produção da testemunha, doses de P para produção máxima (D_{máx}) e para 90% da produção (D₉₀) e porcentagem de aumento da produção máxima em relação à testemunha.

Característica	PM	PM ₉₀	Testemunha	D _{máx}	D ₉₀	Aumento
	----- g -----			---- mg dm ⁻³ de P ----		%
MSR	1,48	1,34	0,83	220,00	65	78,87
MSPA	3,86	3,47	1,69	204,05	67	128,34
MST	5,34	4,81	2,52	209,44	66	111,97

Com base na tabela 5, percebe-se que todas as características tiveram um considerável aumento, com destaque para a massa seca parte aérea. A alta significância desses resultados pode ser explicada pelo fato de que o fósforo é um elemento que estimula o crescimento das raízes, especialmente as secundárias, o que conseqüentemente aumenta sua matéria seca (SOUTO *et al.*, 2009; MALAVOLTA 2006). Isso também contribui para elevar a MSPA e MST, uma vez que quanto maior a quantidade de raízes que uma planta possui, maior a capacidade que ela terá em absorver nutrientes, os quais serão transportados e alocados para as demais partes dela.

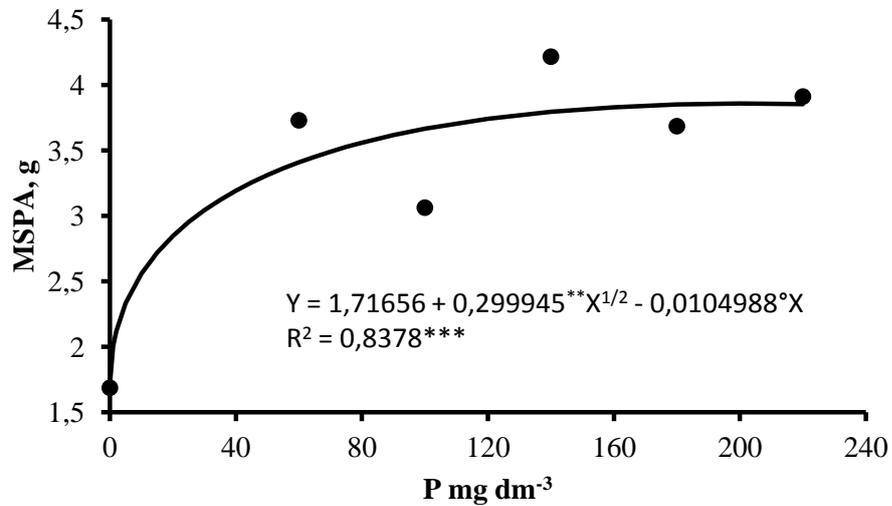
Figura 5 – Massa seca de raiz (MSR) das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



° = significativo 10%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a menos que 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

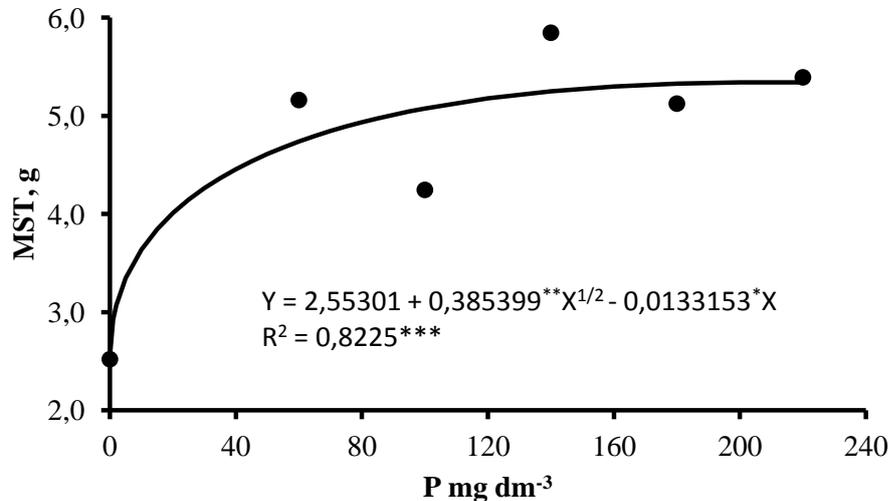
Figura 6 – Massa seca de parte aérea (MSPA) das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



° = significativo 10%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a menos que 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Figura 7 – Massa seca total (MST) das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



* = significativo a 5%; ** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%, pelo teste de F.

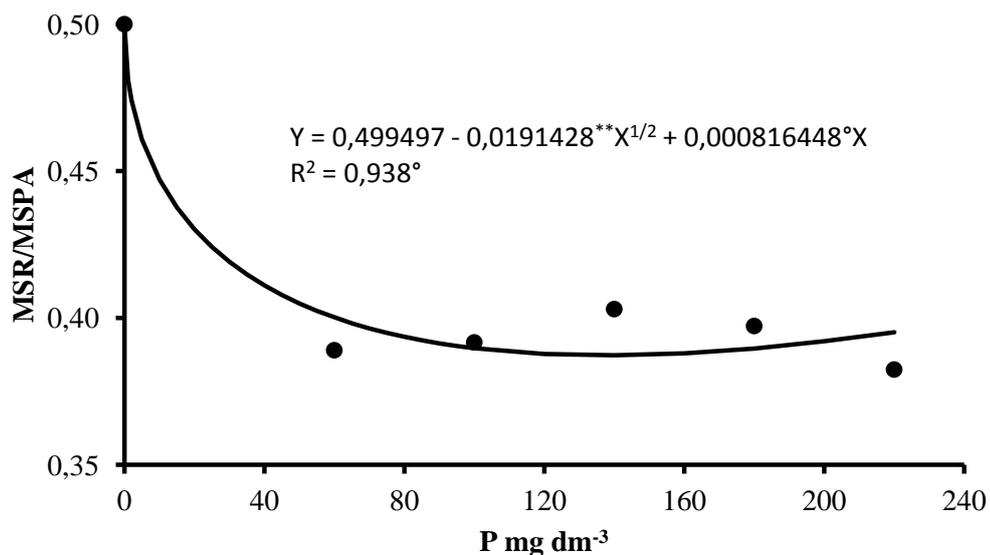
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

A razão entre a massa seca de parte aérea e a massa seca de raiz (MSR/MSPA) também seguiu o modelo raiz quadrático (figura 8), porém não foi significativa, com estabilização do índice em torno de 0,40 após a dose de 60 mg dm⁻³, atingindo um ponto mínimo de 0,38. Esses resultados diferem dos obtidos por Daniel *et al.* (1997), também em estudo com *Acacia mangium*, que encontrou efeito significativo para essa característica, sendo

que o índice se estabilizou em 0,5 e foi estabelecido como adequado para produção de mudas de boa qualidade, valor que se aproxima mais do encontrado para a testemunha neste experimento, a qual teve o pior desempenho. Possivelmente essa diferença se deve a diferenças genéticas das sementes e a fatores inerentes ao substrato utilizado.

De acordo com Glass (1989), a razão entre a biomassa de raízes e a da parte aérea diminui conforme aumenta o suprimento de nutrientes, já que há um menor crescimento radicular devido a incorporação preferencial dos produtos da fotossíntese nos órgãos aéreos. Assim, a sua diminuição está relacionada com uma melhor nutrição de fósforo. Apesar de não ser constatado efeito significativo nesse estudo, o ponto mínimo de 0,38 é 24% inferior que a testemunha.

Figura 8 – Razão massa seca de raiz por massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



° = significativo a menos que 10%; ** = significativo a 1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

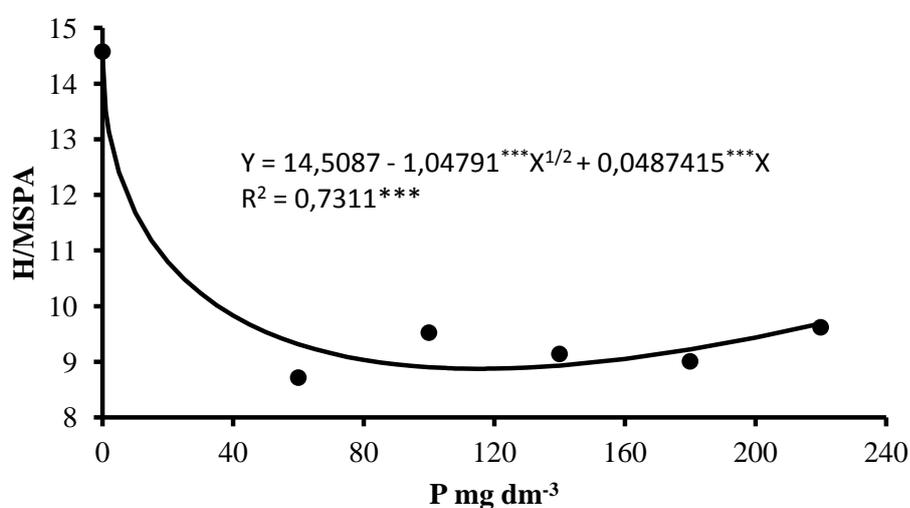
4.7 Razão altura/massa seca de parte aérea (H/MSPA)

A resposta obtida para a razão altura da parte aérea/massa seca da parte aérea (H/MSPA) ajustou-se ao modelo raiz quadrático, sendo o menor valor 8,87 relacionado com a dose de 116,1 mg dm⁻³, que representa 38,86% a menos que o tratamento com a dose zero. Esse mesmo comportamento foi constatado de maneira mais acentuada em mudas de canafístula, em que doses de 50 mg dm⁻³ de P foram capazes de reduzir essa relação em quase

4 vezes em comparação com a testemunha (CRUZ *et al.*, 2012).

Conforme a figura 9, a testemunha teve a maior relação, significativamente diferente de todas as outras, comprovando a efeito positivo da adubação fosfatada, pois, quanto menor essa relação, significa que mais lignifica a muda e tem, portanto, mais chances de sobreviver em campo (GOMES, 2001). No entanto, a aplicação das doses mais elevadas provocou a elevação da relação H/MSPA, o que pode ser prejudicial à qualidade das mudas.

Figura 9 – Razão altura/massa seca de parte aérea das mudas (H/MSPA) de acácia em resposta a doses crescentes de P.



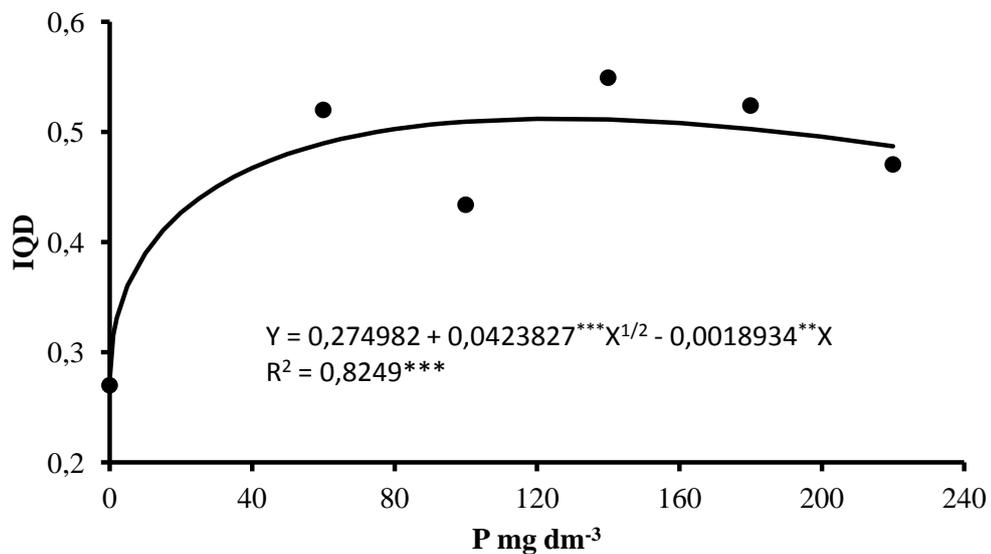
*** = significativo 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

4.8 Índice de qualidade de Dickson (IQD)

A resposta da acácia para o IQD também foi raiz quadrática (figura 10), atingindo um índice máximo de 0,51 na dose de 125,27 mg dm⁻³, o qual é 89,69% superior ao da testemunha. Esse comportamento confirma a importância da adubação fosfatada para a *Acacia mangium*, pois quanto maior esse índice, melhor será o padrão de qualidade das mudas (GOMES, 2001).

Figura 10 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de acácia em resposta a doses crescentes de P.



** = significativo a 1%; *** = significativo a 0,1%, pelo teste de F.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Hunt (1990) estabeleceu 0,20 como bom indicador para mudas *Pseudotsuga menziesii* e *Picea abies*, no entanto o valor ideal deste índice varia muito conforme a espécie. Souza *et al.* (2013) encontraram o maior índice (1,98) na dose mais elevada de fósforo (125,16 mg/kg de P₂O₅) em mudas de canafístula. Já em mudas de pinhão manso, a aplicação de fósforo não influenciou no IQD das mudas estudadas (PRATES *et al.*, 2012)

De acordo com Silva *et al.* (2015), índices inferiores a 1,0 em geral são considerados baixos, mas não necessariamente quer dizer que as mudas não tenham boa qualidade. Isso é devido à baixa produção de massa seca total e de raízes em relação à alta produção de massa seca da parte aérea e altura, características estas inerentes a própria espécie, conforme foi constatado nas relações H/MSPA e MSR/MSPA.

Para obtenção de 90% do IQD (0,46), a dose necessária foi somente de 35 mg dm⁻³ de P. A partir desta dose, a variação do índice foi pequena, podendo-se, portanto, estabelecer 0,46 como índice mínimo de qualidade para a *Acacia mangium*.

5 CONCLUSÃO

Restringindo-se às condições descritas neste trabalho, conclui-se que:

As mudas de *Acacia mangium* responderam positivamente à aplicação de fósforo no solo com baixo teor do nutriente;

Com base na produção de massa seca total, recomenda-se a dose de 67 mg dm^{-3} de fósforo para produção de mudas de *Acacia mangium*.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ATTIAS, N.; SIQUEIRA, M. F.; BERGALLO, H. de G. Acácias australianas no Brasil: histórico, formas de uso e potencial de invasão. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 74-96, 2014.

BARBOSA, R.I. Florestamento dos sistemas de vegetação aberta (savanas/cerrados) de Roraima por espécies exóticas. Disponível em: <http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2002AcaciaTemasDiscussao_CEMAT>. Acesso em: 20/02/2018.

BELLOTE, A. F. J. & NEVES, E. J. M. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2001.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARNEIRO, J. G. de A. **Efeito da densidade sobre o desenvolvimento de alguns parâmetros morfológicos de mudas de *Pinus taeda* L. em viveiro e após o plantio**. 1985. 125 f. Tese (Concurso a Professor Titular) - Departamento de Silvicultura e Manejo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CECONI, D. E., POLETTO, I., BRUN, E. J., LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Cerne**, v. 12, n. 3, 2006.

CLAESSEN, M. E. (1997). **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos - Documentos (INFOTECA-E). Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804>. Acesso em: 15/10/2018.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GUERRERO, C. R. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, 2006.

CRUZ *et al.* Produção de mudas de canafístula cultivadas em Latossolo vermelho amarelo álico em resposta a macronutrientes. **Cerne**, v. 18, n. 1, 2012.

CUNHA, A. O. *et al.* Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DANIEL, O. *et al.* Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 163-168, 1997.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

- FAVALESSA, M. **Substratos renováveis e não renováveis na produção de mudas de *Acacia mangium*** – Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo, v. 60, 2011.
- FERNANDES, L. A. *et al.* Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1191-1198, 2000.
- FERREIRA, E. *et al.* Adubação fosfatada e potássica na formação de mudas de tamarindeiro. **Scientia agraria**, v. 9, n. 4, p. 475-480, 2008.
- FERREIRA, C. A. *et al.* ***Acacia mangium*: uma nova opção para reflorestamento.** In Congresso Florestal Brasileiro (Vol. 6, pp. 564-568). Campos do Jordão: SBS. 1990.
- FREITAS, E. C. S. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* Linnaeus f. em resposta à adubação fosfatada e calagem. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 509-519, abr.-jun., 2017
- FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Muil Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento.** Jaboticabal, UEP, 2000. 113p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista.
- GLASS, A. D. M. **Plant nutrition. An introduction to current concepts.** Boston: Jones and Bartlett Publishers, 1989. 234p.
- GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K** – Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 655 - 664, 2002.
- GOMES J. M. & PAIVA H. P. **Viveiros florestais (propagação sexuada).** 3rd ed. Viçosa: UFV; 2004. 116 p. (Caderno didático, n. 72).
- GRANT, C. A. *et al.* A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, 2001.
- HUNT, G. A. **Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings.** In: Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations. General technical report RM-200, Roseburg. Proceedings...Fort Collins: United States Department of Agriculture. ForestService, 1990. p. 218-222.
- INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, ***Acacia mangium***, 2005. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20060807155801/http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/Acacia_mangium.htm>. Acesso em: 20/09/2018.
- KULL, C.A.; RANGAN, H. 2008. **Acacia exchanges: Wattles, thorn trees, and the study**

of plant movements. Geoforum, 39: 1258-1272.

LEWIS, G.; SCHRINE, B.; MACKINDER, B. & LOCK, M. **Legumes of the world.** Royal Botanic Gardens, Kew, 577p, 2005.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Agronômica Ceres**, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Mangium and other fast-growing acacias for the humid tropics.** National Academy Press, Washington D.C. 1983. 62 p.

NOVAES, A. B. **Avaliação morfológica da qualidade de mudas de Pinus taeda L. produzidas em raiz nua e em diferentes tipos de recipientes** – Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

ORWA, C. *et al.* **Agroforestry database: a tree reference and selection guide version 4.0.** Giriri: Word Agroforestry Center, 2009. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>>. Acesso em: 25/09/2018.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, E.G. *et al.* Efeitos da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 8, n. 1, p. 59-65, 1996.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B. Sorção de fósforo em alguns solos do Semiárido do Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1179-1184, 1998.

PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 3, 2005.

PRATES, F. B. S. *et al.* Crescimento de mudas de pinhão-manso em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, 2012.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

RESENDE, A. V. *et al.* Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 34, n. 11, 1999.

RODRIGUES, A. P. D. C. *et al.* Tratamentos para superar a dormência de sementes de *Acacia mangium* Willd. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 279-283, 2008.

ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R. *Acacia mangium*. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 28. Manaus, 29p. 2003.

RUDEK, A., GARCIA, F. A DE O., BANDEIRA, F. S. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 3775, 2013.

RUSSOWSKI, D.; TEIXEIRA, F. N. Nitrogênio e fósforo no crescimento de plantas de ginseng brasileiro [*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen] cultivadas in vitro. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, 2003.

SANTIN, D. *et al.* Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com n, PEK. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 1, p. 059-066, 2008.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista árvore**, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SILVA, C. A.; DOURADO NETO, D.; SILVA, C. J. **Parâmetros de qualidade de mudas de pitangueira em Recipientes sob déficits hídricos**. XXV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Sergipe, 2015.

SILVA, F. P. **Reflorestamento de *Acacia mangium*: Fonte inesgotável de madeira, mel, tanino, sequestro de carbono e forragam**. 2015. Disponível em <http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_producao_mangium_17209.pdf>. Acesso em: 22/09/2018.

SMIDERLE, O. J., MOURÃO JUNIOR, M., SOUSA, R. D. C. D. Tratamentos pré-germinativos em sementes de acácia. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 78-85, 2005.

SOUTO, J. S. *et al.* Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) millsp). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 135-140, 2009.

SOUZA, C. A. S. *et al.* Crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L.) em substrato com superfosfato simples e vermicomposto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 453-456, 2003

SOUZA, N. H. *et al.* Estudo nutricional da canafístula (i): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.717-724, 2013

TAIZ, L. ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Ed. – Porto Alegre: Artmed, 2017.

TONINI, H., HALFELD-VIEIRA, B. A., SILVA, S. J. R. (Eds.). ***Acacia mangium*: características e seu cultivo em Roraima**. Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

TUCCI, C. A. F. *et al.* Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. **Floresta**, v. 41, n. 3, 2011.

WALLAU, R. L. R. de; BORGES, A. R.; ALMEIDA, D. R. de; CAMARGOS, S. L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 304 - 310, 2008.

ULRICH-EBERIUS, C. I. *et al.* Relationship between energy-dependent phosphate uptake and the electrical membrane potential in lemma gibba G1. **Plant Physiology. Darmstadt**, 67:797- 801, 1981.

ANEXO – Médias das características avaliadas

Tabela 5 – Valores médios de altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), matéria seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), relação altura/diâmetro do coleto (H/DC), razão altura/massa seca de parte aérea (H/MSPA), razão massa seca de raiz/massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), para mudas de acácia, avaliadas aos 95 dias após a semeadura, em função de doses crescentes de P.

Doses de P	H	DC	NF	MSR	MSPA	MST	RHDC	RMRPA	RHMSPA	IQD
mg.dm ⁻³	cm	mm			g					
0	23,12	3,33	4,13	0,85	1,69	2,54	6,95	0,51	27,12	0,28
60	31,93	4,41	5,70	1,43	3,61	5,04	7,24	0,40	22,34	0,52
100	28,86	4,01	5,26	1,21	3,17	4,38	7,20	0,38	23,81	0,45
140	36,31	4,74	6,15	1,61	4,08	5,69	7,66	0,39	22,60	0,56
180	33,12	4,57	5,83	1,42	3,75	5,17	7,25	0,38	23,29	0,52
220	37,62	4,27	5,87	1,47	3,93	5,40	8,81	0,38	25,53	0,47

Fonte: elaborada pelo autor (2018).