



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANA RENATA ABREU DE MORAES

RESPOSTA DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL À CALAGEM

BELÉM
2019

ANA RENATA ABREU DE MORAES

RESPOSTA DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL À CALAGEM

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia: área de concentração Fertilidade do solo, Adubação e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Bruna Sayuri Fujiyama

BELÉM

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia

Moraes, Ana Renata Abreu de

Resposta de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil à calagem / Ana Renata Abreu de Moraes. –
Belém, 2019.
67 f.

Dissertação (Dissertação em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade
Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

Orientador: Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.

Coorientadora: Dra. Bruna Sayuri Fujiama.

1. Coqueiro - Fotossíntese 2. Coqueiro – Concentração de nutrientes 3. Coqueiro - Mudas I. Silva Júnior,
Mario Lopes da, *Orient.* II. Fujiama, Bruna Sayuri, *Coorient.* III. Título.

CDD - 338.17461

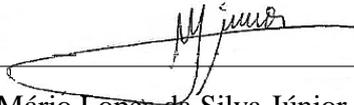
ANA RENATA ABREU DE MORAES

RESPOSTA DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL À CALAGEM

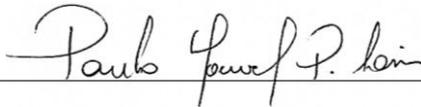
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Bruna Sayuri Fujiyama

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior.- Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Paulo Manoel Pontes Lins - 1º Examinador
EMPRESA SOCOCO S/A INDÚSTRIAS DA AMAZÔNIA



Dr. Gilson Sánchez Chia - 2º Examinador
AGROPALMA



Prof. Dr. Gilson Sérgio Bastos de Matos - 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

*Aos meus pais, Alzira Abreu de Moraes e Luís Carlos Silva da Rosa
e ao meu esposo, Alex Corrêa da Silva.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Empresa Sococo S/A Indústrias da Amazônia pelo financiamento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior, pela orientação, estímulo, companheirismo, compreensão e amizade em todas as fases desta caminhada.

Ao meu esposo Ms. Alex Corrêa da Silva, pelo amor dedicado ao longo de todo o processo.

À minha mãe Alzira Abreu de Moraes, por ser a razão pela qual busco prosperar.

Aos amigos Maynara Santos Gomes, Jácio Abreu Ramos e Felipe José Mendes de Lima, por toda ajuda e dedicação ao longo de todo o experimento.

Aos amigos Hamilton de Souza Neto, Adrienne Braga, Yan Nunes, Leticia Hungria e Wendell Valter, pela ajuda sempre que necessário.

Aos professores Hugo Pinheiro e Rafael Viana, por disponibilizarem o IRGA durante a condução do experimento.

Aos amigos Gledson Luiz e Bruna Fujiyama, pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos Rodolfo Santos e Wagner Lopes Filho, pela disponibilidade para realização das leituras do IRGA.

Ao amigo Ítalo Sampaio, pela imensa ajuda na retirada do experimento.

À amiga Mariza Galdino de Almeida, por estar sempre presente mesmo à distância.

Aos amigos Larissa da Silva Miranda, Mila Façanha Gomes, Diego Luiz Pureza Barreiros, Amanda de Castro Segtowich, Marcilene Machado dos Santos pela amizade e companheirismo em todos os momentos.

Ao grupo PET Solos, pelo acolhimento e ajuda sempre que necessário.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

Aos amigos e estudantes do Programa de Pós-graduação em Agronomia por dividirem as dúvidas, incertezas, o conhecimento, momentos tristes e felizes que passei durante os anos do mestrado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
REFERÊNCIAS	14
1. FERTILIDADE DO SOLO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL SUBMETIDAS À CALAGEM.....	17
RESUMO	17
ABSTRACT	18
1.2 INTRODUÇÃO.....	19
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
1.5 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	33
2. ESTADO NUTRICIONAL E TROCAS GASOSAS DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL SUBMETIDAS À CALAGEM.....	36
RESUMO	36
ABSTRACT	37
2.1 INTRODUÇÃO.....	38
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
2.4 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61
ANEXOS - VIABILIDADE ECONÔMICA.....	64
ANEXO 1	64
ANEXO 2	64
ANEXO 3	65
ANEXO 4	65
ANEXO 5	65
ANEXO 6	66

RESUMO

A cocoicultura assume importante papel social e econômico dentro da agricultura brasileira, com destaque para o estado do Pará, no entanto, ainda existem grandes lacunas no desenvolvimento da cultura no estado, sendo a acidez elevada do solo um dos principais problemas. Na produção de mudas, substratos com acidez elevada é considerado fator limitante na produção de mudas de qualidade, sendo a calagem a prática mais utilizada para correção da acidez do solo, pois além de elevar o pH, neutraliza o alumínio tóxico, propicia maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas e melhora a eficiência de uso dos nutrientes. Mudanças com adequado teor nutricional pressupõem um bom desenvolvimento e uma boa formação do sistema radicular, com melhor capacidade de adaptação ao novo local após o plantio, apresentando vantagens como aumento da resistência às diversidades. Nesse contexto, objetivou-se estudar os efeitos da calagem nas características químicas do solo e no desenvolvimento vegetativo avaliando os processos morfológicos, fisiológicos, e nutricionais em mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico, de Santa Izabel do Pará, PA. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação, no período de março a novembro de 2018. Os tratamentos foram cinco doses de calcário dolomítico (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t.ha⁻¹) tendo em vista saturação por bases (V%) de 30, 40, 50, 60 e 70%, respectivamente, e uma testemunha, sem calcário (V% igual 18), com cinco repetições em blocos ao acaso. Os resultados mostraram que a calagem promoveu melhoria da fertilidade do solo pelo aumento do pH, neutralização do alumínio tóxico e aumento de cálcio, magnésio, fósforo e saturação de bases; promoveu melhora no crescimento das mudas, principalmente na dose de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, apresentando maior área foliar, maior massa seca da raiz, maior massa seca da parte aérea e conseqüentemente maior massa seca total; promoveu maior absorção de cálcio, magnésio, ferro e zinco e, menor concentração de alumínio nas raízes das mudas, principalmente na dose de 1,95 t ha⁻¹ de calcário; promoveu maiores concentrações de cálcio, magnésio e fósforo, e redução na concentração de nitrogênio, boro, cobre, ferro, manganês e alumínio e, promoveu melhoria das trocas gasosas pela maior atividade fotossintética, maior taxa transpiratória, maior condutância estomática e maior concentração intercelular de gás carbônico, principalmente na dosagem de 1,58 t ha⁻¹. Dessa forma, conclui-se que a calagem é eficiente na melhoria da fertilidade do solo, na promoção do melhor estado nutricional com reflexos diretos no crescimento e desenvolvimento de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

PALAVRAS CHAVE: Toxidez por alumínio, sistema radicular, concentração de nutrientes, fotossíntese.

ABSTRACT

Coconut farming plays an important role in Brazilian agriculture, with emphasis on the state of Pará, however, there are still major gaps in the development of the crop in the state, with high soil acidity being one of the main problems. In the production of seedlings, substrates with high acidity are considered a limiting factor in the production of quality seedlings, with liming being the most used practice for soil acidity correction, as well as raising the pH, neutralizing the toxic aluminum, root system of plants and improves the efficiency of nutrient use. Saplings with adequate nutritional content presuppose a good development and a good formation of the root system, with better capacity to adapt to the new place after planting, presenting advantages as increased resistance to diversities. In this context, the objective of this study was to study the effects of liming on soil chemical characteristics and vegetative development, evaluating the morphological, physiological and nutritional processes in Brazilian dwarf coconut saplings cultivated in Yellow Latosol, medium texture, of Santa Izabel do Pará, PA. For this, a greenhouse experiment was carried out from march to november, 2018. The treatments were five doses of dolomitic limestone (0.45, 0.83, 1.20, 1.58 and 1.95 t (V%) of 30, 40, 50, 60 and 70%, respectively, and one control, without limestone (V% equal to 18), with five randomized block replicates. The results showed that liming improved soil fertility by increasing pH, neutralizing toxic aluminum and increasing calcium, magnesium, phosphorus and base saturation; improved the growth of the seedlings, mainly at the dose of 1.58 t ha⁻¹ of limestone, with a higher leaf area, higher root dry mass, higher dry mass of the shoot and consequently higher total dry mass; promoted higher absorption of calcium, magnesium, iron and zinc and a lower concentration of aluminum in the roots of the seedlings, especially in the dose of 1.95 t ha⁻¹ of limestone; promoted higher concentrations of calcium, magnesium and phosphorus, and reduced nitrogen, boron, copper, iron, manganese and aluminum concentrations, and promoted improved gas exchange due to higher photosynthetic activity, higher transpiration rate, greater stomatal conductance, and higher intercellular concentration of carbon dioxide, mainly at the dosage of 1.58 t ha⁻¹. Thus, it is concluded that liming is efficient in improving soil fertility, promoting better nutritional status with direct reflexes on the growth and development of Brazilian dwarf coconut seedlings.

KEYWORDS: Toxicity by aluminum, root system, concentration of nutrients, photosynthesis.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) tem como principal centro de origem e diversidade o Sudeste Asiático, sendo expandido posteriormente para América Latina, Caribe e África Tropical. Atualmente, o coqueiro é cultivado em mais de 200 países, sendo encontrado em grandes plantios entre os paralelos 23° N e 23° S (MARTINS; JUNIOR, 2011). No Brasil tem sido apontado a região Nordeste, especificamente o estado da Bahia, como local de introdução da cultura no país, por isso a denominação coco-da-baía (FERRÃO, 2013). Nos últimos anos a cocoicultura assumiu importante papel dentro da agricultura, sendo considerada uma importante atividade geradora de emprego e renda em diversos estados brasileiros (SILVA, 2016).

Em 1990 o Brasil ocupava a 10ª posição no ranking mundial, com uma produção em torno de 477 mil toneladas de coco. Atualmente o Brasil ocupa a 5ª colocação mundial em área colhida com aproximadamente 234 mil hectares, e uma produção de frutos em torno de 2,6 milhões de toneladas, sendo líder no ranking de produtividade da cultura (SANTOS, 2018). Ainda segundo Santos (2018), a liderança de produção é do estado da Bahia, seguido de Ceará, Sergipe e Pará.

Embora o Pará se destaque entre os principais produtores de coco no Brasil, ainda existem grandes lacunas no desenvolvimento da cultura no estado (LINS; VIEGAS, 2008). Para Prado (2008) o aumento da produção de culturas agrícolas cultivadas na Amazônia tem se condicionado principalmente na melhoria de solos com restrições em fertilidade. O fator nutricional é um dos que mais influenciam no desenvolvimento das plantas, principalmente quando se trata de culturas de interesse comercial. Segundo Holanda (2007), para que o coqueiro apresente pleno desenvolvimento e máxima produção é necessário que os nutrientes essenciais à cultura sejam supridos nos períodos de exigência e em quantidades adequadas.

Para a obtenção de plantas de coqueiro produtivas é indispensável o cuidado no processo de produção de mudas (LINS; VIEGAS, 2008). Os atributos químicos do substrato é um dos principais fatores de interferência na germinação, crescimento e qualidade das mudas (ROS et al., 2015). Mudas com adequado teor nutricional pressupõem um bom desenvolvimento e uma

boa formação do sistema radicular, com melhor capacidade de adaptação ao novo local após o plantio, apresentando vantagens como aumento da resistência às diversidades (SILVA, 2011).

No entanto, os substratos usados geralmente apresentam grandes restrições quanto a fertilidade. Esta restrição relaciona-se diretamente com a acidez elevada dos solos brasileiros, sendo uma característica generalizada dos solos agricultáveis da Amazônia, causado pela diminuição na disponibilidade de cátions básicos e aumento da solubilidade de cátions tóxicos (H, Al, Mn) (LIMA, 2004). Na região amazônica os fatores influenciados pela acidez do solo, tais como pH, saturação por alumínio, e deficiência de nutrientes são os que mais interferem na produtividade de diversas culturas (CRAVO et al., 2012).

Essa acidez elevada dos solos amazônicos tem origem natural e ocorre durante o seu processo de formação, devido a predominância de material de origem pobre em elementos de caráter básico, ou a processos de formação que favorecem a remoção de cátions básicos e acúmulo de cátions de propriedades ácidas causados principalmente pela elevada precipitação pluviométrica da região (SOUSA et al., 2007). A acidez do solo pode se dar também devido a práticas culturais. Um dos fatores que contribuem significativamente para acidificação dos solos cultivados é a sucessão de cultivos agrícolas ao longo do tempo, aliada à prática de aplicação de fertilizantes, sobretudo os amoniacais. Essas práticas contribuem para a acidificação dos solos, em razão de perdas e absorção de cátions básicos pelas plantas, da mineralização de materiais orgânicos e da nitrificação (SOUSA et al., 2007).

Em regiões com altas taxas pluviométricas, como a região amazônica, a maioria dos solos agricultáveis é naturalmente ácido devido não apenas ao material de origem desses solos que são pobres em cátions básicos, mas também devido a processos pedogenéticos relacionados ao intemperismo intenso (REIS et al., 2009). Estudos realizados por Silva et al. (2006); Silva Júnior et al. (2012); Moline e Coutinho (2015); e Mantovanelli et al. (2016) caracterizaram os solos da região amazônica como solos ácidos, com baixos valores de pH e altos valores de alumínio trocável (Al^{3+}), que é naturalmente tóxico para as plantas, e baixo conteúdo de cátions básicos como cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e potássio (K^{+}).

O Al^{3+} é o fator mais limitante para o crescimento e produção de culturas em solos ácidos (CRISTANCHO et al., 2010). O Al^{3+} em grandes concentrações no solo implica na

diminuição da solubilidade do fósforo e molibdênio e na diminuição da concentração de macronutrientes na solução do solo (ROUT et al., 2001). Na planta, provoca uma série de alterações no metabolismo, especialmente no sistema radicular, inibindo seu crescimento, com consequência na redução da absorção de água e nutrientes (BARCELÓ; POSCHENRIEDER, 2002).

As culturas ao serem afetadas pelo Al^{+3} apresentam com frequência sintomas de deficiência nutricional, principalmente de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e molibdênio. Essa deficiência é devido a interferência do Al^{+3} nos processos de absorção, translocação e transporte de nutrientes (FREITAS et al., 2006). A deficiência de nutrientes essenciais ou combinações que afetem a disponibilidade deles provoca distúrbios no metabolismo, evidenciados no decréscimo do teor de proteínas e outras anormalidades (BASSO et al., 2003).

Silva et al. (2016), em estudo realizado em área subtropical das Américas com solo ácido rico em Al^{+3} , com o objetivo de analisar a implicância desse elemento nas trocas gasosas de *Citrus limonia*, verificaram que as respostas fotoquímicas foram reduzidas em plantas expostas ao Al^{+3} , constatando que em solos ácidos há influência indireta de Al^{+3} nas atividades de trocas gasosas. Ao inibir o crescimento radicular, o Al^{+3} expõe as raízes à baixa disponibilidade de água e nutrientes, diminuindo a hidratação e estado nutricional da planta, e comprometendo, conseqüentemente, as suas atividades fisiológicas como a diminuição da taxa de assimilação de CO_2 (A) e condutância estomática (gs).

Para a correção da acidez do solo e conseqüentemente do Al^{+3} a prática mais utilizada é a calagem. A calagem promove a elevação do pH, a neutralização do alumínio tóxico, propiciando maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a eficiência de uso dos nutrientes e da água que estão no solo (RAIJ, 2011). Segundo Fageria et al. (2008), a calagem é uma prática eficaz e predominantemente utilizada para melhorar o rendimento das culturas.

Segundo Novais et al. (2007), a calagem é a prática mais utilizada para correção do pH do solo porque além de neutralizar o alumínio do solo, neutraliza também manganês e ferro que em solos ácidos podem estar em formas e quantidades tóxicas às plantas. Além disso, fornece Ca e Mg como nutrientes, promove o aumento da CTC efetiva (capacidade de troca catiônica),

reduz a lixiviação de bases, aumenta a disponibilidade de fósforo e molibdênio que não são assimiláveis em pH baixo e aumenta a atividade biológica do solo.

A calagem é o principal e mais comum método de fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas, elementos que influenciam diretamente no processo de trocas gasosas. Os íons de cálcio são importantes componentes de sinalização envolvidos na regulação da turgescência da célula-guarda e, por conseguinte, na abertura e fechamento estomático influenciando diretamente no desempenho fotoquímico dos vegetais (ROTHWELL; DODD, 2014). Já o magnésio é um dos principais componentes da molécula de clorofila, seu fornecimento é primordial para a sua síntese; o fornecimento inadequado desse nutriente compromete drasticamente a taxa fotossintética das plantas (PRADO, 2008).

No Brasil, pesquisas envolvendo calagem fazem-se presente em todos os quadrantes do País, principalmente nas áreas de maior atividade agrícola. Na região Norte, onde se encontra o estado do Pará, vem aumentando o número de pesquisas conduzidas com o objetivo de analisar os efeitos da calagem em culturas perenes (SOUSA, 2006). Pesquisas recentes vêm demonstrando efeitos positivos da calagem, em diversos parâmetros analisados, em espécies consideradas tolerantes a baixa acidez dos solos e altas saturações por alumínio como a palma de óleo e mogno (RIVERA et al. 2016; VIEGAS et al. 2017).

Rivera et al. (2016) analisaram a toxicidade do Al^{+3} como fator limitante no crescimento e produtividade agrícola da palma de óleo. Nesta pesquisa foi concluído que a toxidez por Al^{+3} é o fator que mais limita o crescimento e o desenvolvimento de plantas em solos ácidos, especialmente se o pH for menor ou igual a 5,0. Seu efeito produz sintomas morfológicos e fisiológicos evidenciados principalmente em danos causados no sistema radicular. Viégas et al. (2017) estudaram o crescimento e nutrição mineral de mudas de mogno submetidas a calagem em Neossolo quartzarênico álico. Nesse estudo foi evidenciado que a calagem, por diminuir a acidez do solo e a saturação por alumínio, influencia positivamente na absorção e acúmulo de nutrientes, melhorando consequentemente a qualidade das mudas de mogno. Sendo assim, os autores recomendam a aplicação de calcário para obter o maior desenvolvimento vegetativa na produção de mudas de mogno em Neossolo quartzarênico álico.

Além disso, outros estudos menos recentes envolvendo a palma de óleo e outras culturas perenes, frequentemente cultivadas em solos ácidos, já evidenciavam a importância da calagem. Cristancho et al. (2011), ao estudarem a aplicação de carbonato de cálcio (CaCO_3), calcário de magnésio moído (CMM) e carbonato de magnésio (MgCO_3) na neutralização do alumínio e seus efeitos sobre o crescimento de híbridos e clones de mudas de palma de óleo na Malásia, verificaram que a neutralização do alumínio melhorou a fertilidade do solo refletindo no maior crescimento das raízes e o aumento do teor de clorofila quando a saturação por alumínio foi abaixo de 30%. Hernandez et al. (2010), ao estudarem o efeito da calagem no crescimento e desenvolvimento da caramboleira, observaram que o calcário influenciou significativamente na neutralização da acidez do solo proporcionando incremento nas variáveis biométricas e aumento no incremento de Ca e Mg na planta. Maeda e Bognola (2011), objetivando comparar o efeito da calagem e da forma de aplicação na eficiência de duas fontes de fósforo no crescimento e absorção de nutrientes por mudas de *Eucalyptus dunnii* em solo com elevado teor de acidez trocável (Al^{+3}), concluíram que a calagem aumentou a produção de matéria seca da parte aérea, o crescimento, e o teor de fósforo acumulado pelas mudas.

Para estudar os efeitos da calagem em mudas é necessário que se avalie alguns parâmetros que definam a sua qualidade. Entre os principais parâmetros estão os morfológicos como os parâmetros de crescimento (altura da planta, diâmetro do caule e massa total de matéria seca) (VIEGAS et al., 2017). Assim como parâmetros fisiológicos que incluem o potencial hídrico, taxas fotossintéticas e condutância estomáticas, além do estado nutricional (TUCCI et al., 2007).

Assim, a hipótese geral do trabalho é a de que a calagem é capaz de melhorar a fertilidade do solo e promover maior crescimento e desenvolvimento de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos da calagem nas características químicas do solo e no desenvolvimento vegetativo avaliando os processos morfológicos, fisiológicos, e nutricionais em mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico, de Santa Izabel do Pará, PA.

Para isto a dissertação foi dividida em dois capítulos:

- 1) A hipótese do primeiro capítulo é que a calagem melhora a fertilidade do solo e promove melhoria no crescimento vegetativo de mudas de coqueiro-anão-verde do Brasil. Este

primeiro capítulo teve como objetivo avaliar os efeitos da calagem no pH, na neutralização do alumínio, na disponibilidade de macronutrientes na solução do solo e nos parâmetros de crescimento de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

- 2) A hipótese do segundo capítulo é que a calagem melhora os processos fisiológicos e nutricionais de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. O objetivo deste capítulo foi demonstrar os efeitos da calagem nas trocas gasosas e na concentração de macro e micronutrientes na raiz e nas folhas de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ARUAS, N. & MÚNEVAR, F. Caracterización de la fertilidad de los suelos de la Zona Central palmera de Colombia. **Palmas**, v. 25, p. 135-147, 2004.
- BASSO, L. H.; LIMA, G. P. P.; GONÇALVES, A. N.; VILHENA, S. M. C.; PADILHA, C. C. F. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* cultivadas *in vitro*. **Revista Scientia Forestalis**, v. 63, p. 167-177, 2003.
- BARCELÓ, J., & POSCHENRIEDER, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and resistance: A review. **Environmental & Experimental Botany**, v. 48, p. 75-92, 2002.
- CASIERRA, F. & AGUILAR, O. Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 1, p. 246-256, 2007.
- CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. B. Calagem em Neossolo quartzarênico Distrófico da Amazônia e sua Influência em Atributos Químicos do Solo e na Produtividade de Culturas Anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, n. 36, p.895-907, 2012.
- CRISTANCHO, J. Á. R.; HANAFI, M.; OMAR, S. R. S.; RAFIL, Y. M.; MARTINEZ, F. M.; CAMPOS, C. E. C. Alleviation of aluminum in acidic soils and its effect on growth of hybrid and clonal oil palm seedlings. **Journal of Plant Nutrition**.v.15, n. 6, p.37-41, 2011.
- CRISTANCHO, J., HANAFI, M., SYED, R., & RAFI, M. Variations in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny response to high aluminum concentrations in solution culture. **Plant Biology**, v. 13, p. 33-42, 2010.
- FERRÃO, J. E. M. Na linha dos descobrimentos dos séculos XV e XVI: intercâmbio de plantas entre a África Ocidental e a América. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, p. 250-269, 2013.
- FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D. CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Revista Ciência Rural**, v. 36, p. 71-79, 2006.
- HERNANDES, A.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. Calagem no crescimento e desenvolvimento da caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.2, p.170-176, 2010.
- HOLANDA, J. S. **Tecnologias para a produção intensiva de coco Anão-verde**. Natal: Empresa de Pesquisa Agropecuária do rio Grande do Norte, 40 p, 2007.
- LINS, P. M. P. & VIÉGAS, I. J. M. **Adubação do coqueiro no Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 28 p., 2008.
- LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de Implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Tese, Botucatu-SP, 116 p., 2004.

MAEDA, S. & BOGNOLA, I. A. Efeito da calagem, do fosfato natural de Gafsa e superfosfato triplo no crescimento inicial e absorção de fósforo em *Eucalyptus dunni*. **Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo**, v. 31, p. 355-361, 2011.

MARTINS, C. R. & JUNIOR, L. A. J. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.

MANTOVANILLI, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; FRANCISCON, U.; NASCIMENTO, M. F.; SANTOS, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, p. 01-09, 2016.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. M.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v.24, 2010.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 34, p. 1294-1306, 2012.

NATALE, W.; PRADO, R. M, ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 30, p. 1136-1145, 2008.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, UNESP, 407p. 2008. POSCHENRIEDER, C., GUNSE, B., CORRALES, I., & BARCELÓ, J. (2008). A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of the total environment**, v. 40, p. 356- 368, 2008.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma Topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 52, p. 37-47, 2009.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p., 2011.

RIVERA, Y.; MORENO, L.; HERRERA, M.; ROMERO, H. M. La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. **Revista Palmas. Bogotá (Colombia)**, v. 56, p. 11-23, 2016.

ROTHWELL, S. A & DODD, I. C. Xylem sap calcium concentrations do not explain liming-induced inhibition of legume gas Exchange. **Plant and Soil**, v.2, p.17-30, 2014.

ROS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAFER, P. S.; RODRIGUES, A. C. SILVA, R. F.; SOMAVILLA, L. Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudanças de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p.549-558. 2015.

ROUT, G., SAMANTARA, S., & DAS, P. Aluminum toxicity in plants: A review. **Agronomie**, v. 21, p. 3-21, 2001.

SANTOS, M. M. S. **Ecofisiologia do coqueiro gigante sob diferentes condições de umidade e salinidade do solo no litoral oeste do estado do ceara**. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 81p., 2018.

SILVA, G. S.; GAVASSI, M. A.; NOGUEIRA, M. A. HABERMANN, G. Aluminium prevents stomatal conductance from responding to vapor pressure deficit incitrus limonia. **Environmental and Experimental Botany**, v. 15, p.662-671, 2016.

SILVA V.; MOTTA, A. C. V.; MELO V. F; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.551-559, 2006.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e a sua correção**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

SOUSA, G. O. **Efeito da calagem no crescimento e nutrição de plantas de Helicônia (Heliconia psittacorum L. x Heliconia spathocircinada Arist.) CV. Golden torch, em Latossolos amarelos do estado do Pará**. Dissertação, Universidade Federal Rural da Amazonia, 2016.

TUCCI, C. A. F.; SOUZA, P. A.; VENTURIN, N. BARROS, J. G. calagem e adubação para formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla King*). **Cerne**. v.13, p.299-397. 2007.

VIEGAS, I. J. M.; SILVA, G. R.; SILVA JUNIOR, M. L.; GAMA, M. A. P. OKUMURA, R. S.; FRAZÃO, D. A. C.; MATOS, G. S. B.; DOUZA JUNIOR, J. C. LIMA, E. V.; GALVÃO, J. R. Growth and mineral nutrition of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings subjected to lime in Yellow Alic Latosol. **Australian journal of crop Science**. 2017.

2. FERTILIDADE DO SOLO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL SUBMETIDAS À CALAGEM

RESUMO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é considerado uma das principais culturas dos trópicos úmidos, com destaque para o estado do Pará que detém aproximadamente 9% da produção nacional, sendo o 4º maior produtor do país, perdendo apenas para Bahia, Ceará e Sergipe. Entre as limitações para aumento da expansão agrícola no estado encontra-se a baixa fertilidade dos solos e sua acidez elevada, pois interferem diretamente de forma negativa na produtividade. A principal forma de sanar essa limitação é através da calagem, que consiste na aplicação de calcário no solo com o objetivo de neutralizar o alumínio, elevar o pH do solo e a saturação por bases de acordo com a necessidade de cada cultura. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos da calagem nos atributos químicos do solo e nos parâmetros de crescimento de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação no período de março a novembro de 2018. Os tratamentos foram cinco doses de calcário dolomítico (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t.ha⁻¹) tendo em vista saturação por bases (V%) de 30, 40, 50, 60 e 70%, respectivamente, e uma testemunha, sem calcário (V% igual 18), com cinco repetições em blocos ao acaso. Os resultados mostraram que a calagem promoveu melhoria da fertilidade do solo pelo aumento do pH, neutralização do alumínio tóxico e aumento de cálcio, magnésio, fósforo e saturação de bases; promoveu melhora no crescimento das mudas, principalmente na dose de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, apresentando maior área foliar, maior massa seca da raiz, maior massa seca da parte aérea e conseqüentemente maior massa seca total. Conclui-se então que com 60 dias de incubação do calcário os atributos do solo foram positivamente influenciados, e que a calagem contribuiu para mitigar os efeitos da acidez do solo nas variáveis de crescimento das mudas de coqueiro, principalmente da área foliar e raízes. A dose 1,58 t ha⁻¹ de calcário foi a que apresentou melhor resposta para todas as variáveis influenciadas positivamente.

PALAVRAS CHAVE: Neutralização do alumínio, Saturação de bases, Sistema radicular.

2. SOIL FERTILITY AND VEGETATIVE GROWTH OF GREEN DWART COCONUT TREE OF BRAZIL SUBMITTED LIMING

ABSTRACT

Coconut palm (*Cocos nucifera* L.) is considered to be one of the main crops of the humid tropics, especially the State of Pará, which owns approximately 9% of the national production, being the 4th largest producer in the country, losing only to Bahia, Ceará and Sergipe . Among the limitations to increase the agricultural expansion in the state is the low fertility of the soils and their high acidity, because they interfere directly in a negative way in the productivity. The main way to remedy this limitation is by liming, which consists of the application of limestone in the soil with the objective of neutralizing the aluminum, raising soil pH and saturation by bases according to the need of each crop. The objective of this study was to evaluate the effects of liming on soil chemical attributes and growth parameters of Brazilian dwarf coconut seedlings cultivated in Yellow Latosol, medium texture. For that, a greenhouse experiment was carried out from march to november, 2018. The treatments were five doses of dolomitic limestone (0.45, 0.83, 1.20, 1.58 and 1.95 t. ha⁻¹) for base saturation (V%) of 30, 40, 50, 60 and 70%, respectively, and one control, without limestone (V% equal to 18), with five randomized blocks. The results showed that liming improved soil fertility by increasing pH, neutralizing toxic aluminum and increasing calcium, magnesium, phosphorus and base saturation; improved leaf growth, mainly at the rate of 1.58 t ha⁻¹ of limestone, with a higher leaf area, higher root dry mass, higher shoot dry mass and consequently higher total dry mass. It was concluded that with 60 days of limestone incubation the soil attributes were positively influenced, and that the liming contributed to mitigate the effects of soil acidity on the growth variables of the coconut tree seedlings, mainly leaf area and roots. The 1.58 t ha⁻¹ dose of limestone was the one that presented the best response for all variables positively influenced.

KEYWORDS: Neutralization of aluminum, Saturation of bases, Root system.

2.1 INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é considerado uma das principais culturas dos trópicos úmidos, conhecido como uma planta de múltiplas funcionalidades, oferece uma gama de produtos que podem ser explorados, levando ao reconhecimento mundial como um recurso vegetal vital para toda a humanidade (MARTINS et al., 2015). Seus plantios comerciais são encontrados em 90 países, onde se encontram as maiores produções devido as melhores condições de cultivo como intensa radiação solar, boa umidade e precipitação bem distribuída. No Brasil a grande maioria da cultura do coqueiro se encontra na região litorânea do Nordeste, detentora de aproximadamente 73,5% da produção (MARTINS et al., 2015). O Pará detém aproximadamente 9% da produção nacional, sendo o 4º maior produtor do país, perdendo apenas para Bahia, Ceará e Sergipe (SILVA, 2018).

Entre as limitações para aumento da expansão agrícola no estado do Pará encontra-se a baixa fertilidade dos solos e sua acidez elevada, pois interferem diretamente de forma negativa na produtividade (GUIMARÃES JUNIOR, 2013). O processo de acidez desses solos ocorre normalmente pela precipitação elevada, causando lixiviação de quantidades apreciáveis de bases trocáveis do solo e pela ausência de minerais primários e secundários, responsáveis pela reposição dessas bases (GUIMARÃES JUNIOR, 2013). O aumento da acidez do solo é um desequilíbrio químico grave causado por níveis tóxicos de alumínio, manganês e prótons H^+ em junção com deficiências críticas em nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, molibdênio e zinco, que causam desequilíbrio nas plantas, afetando negativamente seus processos fisiológicos, bioquímicos e metabólicas, prejudicando seu crescimento e desenvolvimento (FAGERIA; BALIGAR, 2008).

A técnica mais utilizada e difundida para correção de solos ácidos é a calagem; esta técnica consiste na aplicação de calcário no solo. Dentre os principais objetivos da calagem encontram-se a neutralização do alumínio, elevação do pH do solo e da saturação por bases de acordo com a necessidade de cada cultura (BRAGA NETO, 2017).

Pesquisas envolvendo os efeitos da calagem no crescimento de mudas do coqueiro são praticamente inexistentes, principalmente na Amazônia, isto porque, o coqueiro é considerado uma planta rústica que se adapta em diferentes condições de cultivo, inclusive, consegue se desenvolver bem em solos ácidos e com altas saturações por alumínio.

A hipótese deste trabalho é de que a calagem melhora a fertilidade do solo e promove melhoria no crescimento vegetativo de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. O objetivo foi avaliar os efeitos da calagem nos atributos químicos do solo e nos parâmetros de crescimento de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Implantação e condução do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, no período de março a novembro de 2018. As coordenadas geográficas do local do experimento são 48°26'07''W e 1°27'07''S. Durante o experimento a média da temperatura máxima foi 38°C e mínima 25°C com umidade relativa máxima de 91% e mínima de 38%. Utilizou-se mudas de coqueiro da variedade anão-verde do Brasil, inicialmente com 4 meses de idade, obtidas a partir de produção da fazenda Reunidas Sococo localizada no município de Santa Isabel do Pará (PA). Foram transplantadas 30 mudas para vasos com capacidade para 17 Kg.

O solo utilizado como substrato também foi proveniente da fazenda Reunidas Sococo localizada no município de Santa Isabel do Pará, obtido da camada arável de 0 a 20 cm, classificado como Neossolo quartzarênico distrófico (EMBRAPA, 2013). Antes da aplicação dos tratamentos amostras de solo foram coletadas para avaliação das propriedades químicas e físicas (Tabela 1). Não houve adubação do solo antes da implantação do experimento, a exigência nutricional das mudas foi atendida ao longo do experimento de acordo com o recomendado para mudas de coqueiro (LINS; VIÉGAS, 2008).

Tabela 1: Características químicas e granulométricas do Neossolo quartzarênico, camada 0-20 cm, antes da incubação do calcário e interpretação dos dados para coqueiro em solos de baixa CTC (4 % a 5 %) – Malavolta (2001).

pH H ₂ O	pH CaCl ₂	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	K ⁺	CTC pH7	P disponível	S	V%	m%	
-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----		%			
4,2	3,4	2,8	0,4	0,2	0,8	0,01	3,42	1	21	18	56,34	
Interpretação dos valores												
Baixo	Baixo	-----	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Adequado	Baixo	Excessivo	
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia		Silte		Argila			
-----mg dm ⁻³ -----			-----g kg ⁻¹ -----									
0,24	0,1	128	1	0,4	861,7		47,6		90,7			
Interpretação dos valores												
Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Textura arenosa							

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram na aplicação de cinco doses de calcário dolomítico (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t.ha⁻¹) tendo em vista saturação por bases (V%) de 30, 40, 50, 60 e 70%, respectivamente, e uma testemunha, sem calcário (V% igual 18), com cinco repetições, perfazendo 30 unidades experimentais.

As doses de calcário foram calculadas de acordo com o critério de saturação por bases estipulado para 17 kg de solo, obtidas pela expressão seguinte, de acordo com Lins e Viegas (2008).

$$NC = \frac{(V2 - V1) \times T}{PRNT}$$

Em que:

NC: Necessidade de calagem (t ha⁻¹)

V2: Saturação de bases desejada (%)

V1: Saturação de bases atual do solo (%)

T: Capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC) (cmol_c dm⁻³)

PRNT: Poder relativo de neutralização total

Utilizou-se calcário dolomítico (CaCO₃.MgCO₃) com PRNT igual a 91%, contendo 32% de CaO e 15% de MgO. O calcário foi aplicado por vaso, homogeneizado em sacos

plásticos e adicionado água destilada na quantidade para manter o solo em 80% da capacidade de campo. Durante o período de incubação, a cada 3 dias foi realizada uma nova homogeneização e, quando necessário, o reumedecimento a fim de garantir a eficiência da reação do calcário com o solo.

O transplântio das mudas foi realizado com 60 dias após a incubação do calcário, na ocasião, amostras de solo foram retiradas para verificação da fertilidade do solo no momento do transplântio das mudas de coqueiro para os vasos.

As mudas foram adubadas no primeiro, terceiro e quinto meses de idade com 1,35; 2,7 e 4,05 g/planta de N; 7,2; 14,4 e 21,6 g/planta de P_2O_5 ; 6, 12 e 18 g/planta de K_2O ; 1,5; 3 e 4,5 g/planta de Mg, respectivamente e 0,3 g/planta de B no quinto mês. Os adubos utilizados para a fertilização foram ureia, superfosfato simples, cloreto de potássio, óxido de magnésio e boráx (LINS; VIÉGAS, 2008).

A irrigação foi realizada diariamente, onde a reposição da água perdida por evapotranspiração se deu pelo método gravimétrico, com auxílio de balança digital, tendo como referência a massa do conjunto solo (S) + vaso (V) + umidade (U) a 80% capacidade de campo. A massa que o sistema S+V+U deveria apresentar era de 21kg, o faltante era completado com água destilada.

Atributos químicos do solo após 60 dias da aplicação dos tratamentos

Para avaliação da influência da calagem nos atributos químicos do solo após 60 dias da realização da calagem, foram retiradas três amostras simples para formar uma amostra composta, sendo três amostras compostas por tratamento, totalizando dezoito amostras. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental. As variáveis analisadas foram potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al), íon cálcio (Ca^{+2}), íon magnésio (Mg^{+2}), íon alumínio (Al^{+3}), íon potássio (K^+), fósforo disponível (P), capacidade de troca de cátions (CTC); saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), de acordo com Embrapa (2017).

Altura, número de folhas, área foliar e produção de massa seca das plantas

A altura das plantas foi mensurada aos 240 dias após o transplântio, com o auxílio de uma trena métrica graduada, considerando-se a distância vertical entre o coleto da planta e a extremidade da maior folha esticada, expresso em metro.

O número de folhas foi contabilizado aos 240 dias após o transplântio, a partir da primeira folha, do ápice à base, considerando-se a primeira folha aquela que precede a emissão da folha mais nova, expresso em unidades.

A área foliar foi obtida aos 240 dias após o transplântio, logo após a coleta das plantas. Para a determinação da área foliar, foi utilizado um integrador de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA). As folhas foram retiradas da planta e passadas individualmente no aparelho, sendo o valor expresso em $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$.

Ao final do experimento, com 240 dias após o transplântio, as plantas foram retiradas para a obtenção da massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST). Após as plantas serem colhidas e separado parte área e raiz, foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, e colocados para secar em estufa com circulação de ar, temperatura na faixa de 65° a 70°C. O período de secagem das amostras foi definido por meio de pesagens realizadas até a obtenção de peso constante. Logo após, cada amostra teve sua biomassa seca quantificada em balança analítica, sendo os valores expressos em gramas.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando o teste F foi significativo realizou-se análise de regressão por meio do programa SISVAR com $P < 0,05$ (FERREIRA, 2011). Quando possível foi realizado através das equações de regressão o cálculo da máxima eficiência técnica.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fertilidade do solo após 60 dias da aplicação dos tratamentos

A influência da calagem foi significativa para todas as variáveis de fertilidade do solo (Figuras 1 e 2).

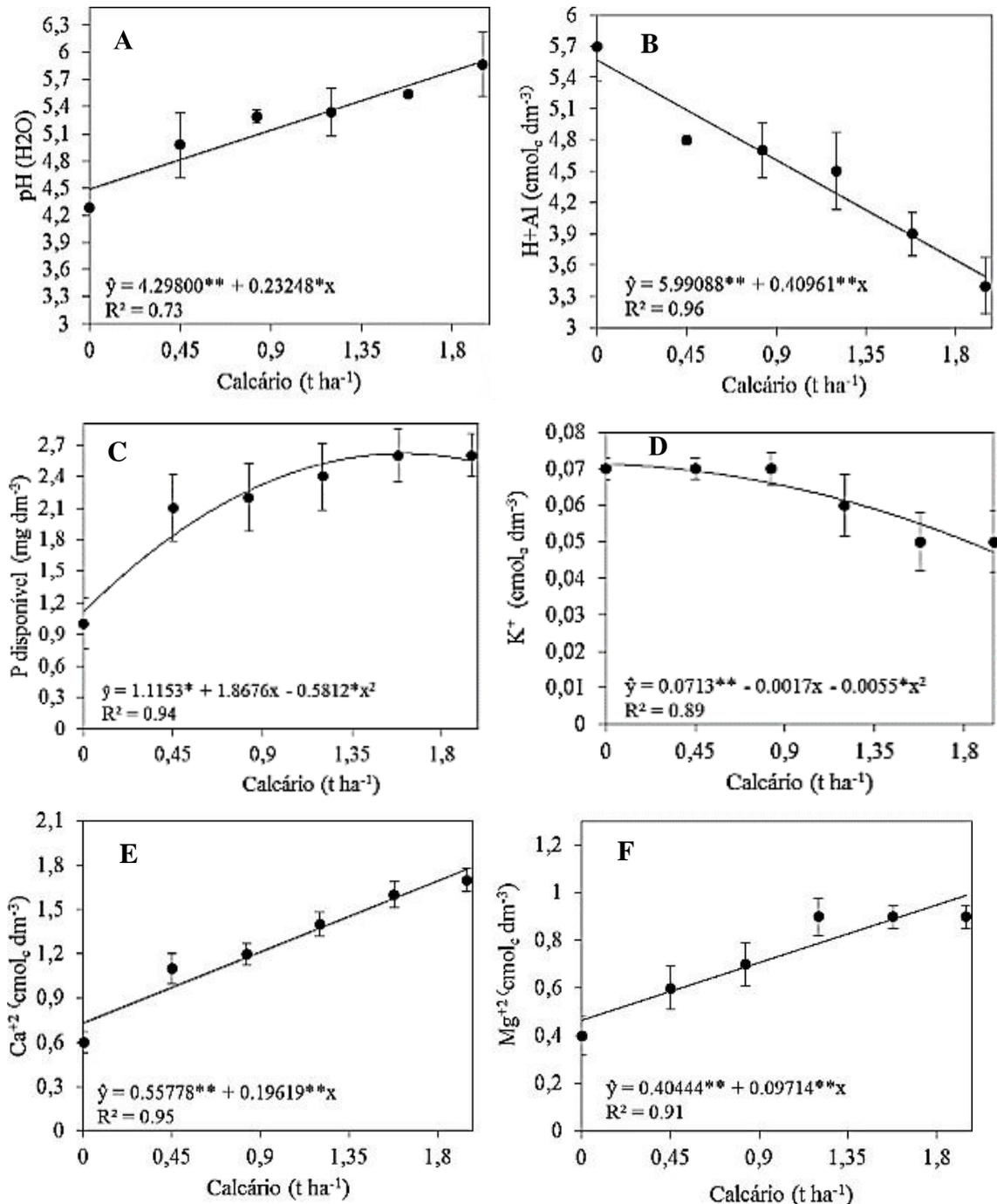


Figura 1: Influência da calagem no potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H⁺Al), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²) e magnésio (Mg⁺²). Barras verticais indicam erro padrão das médias (n = 5), *significativo a 5%, **significativo a 1%.

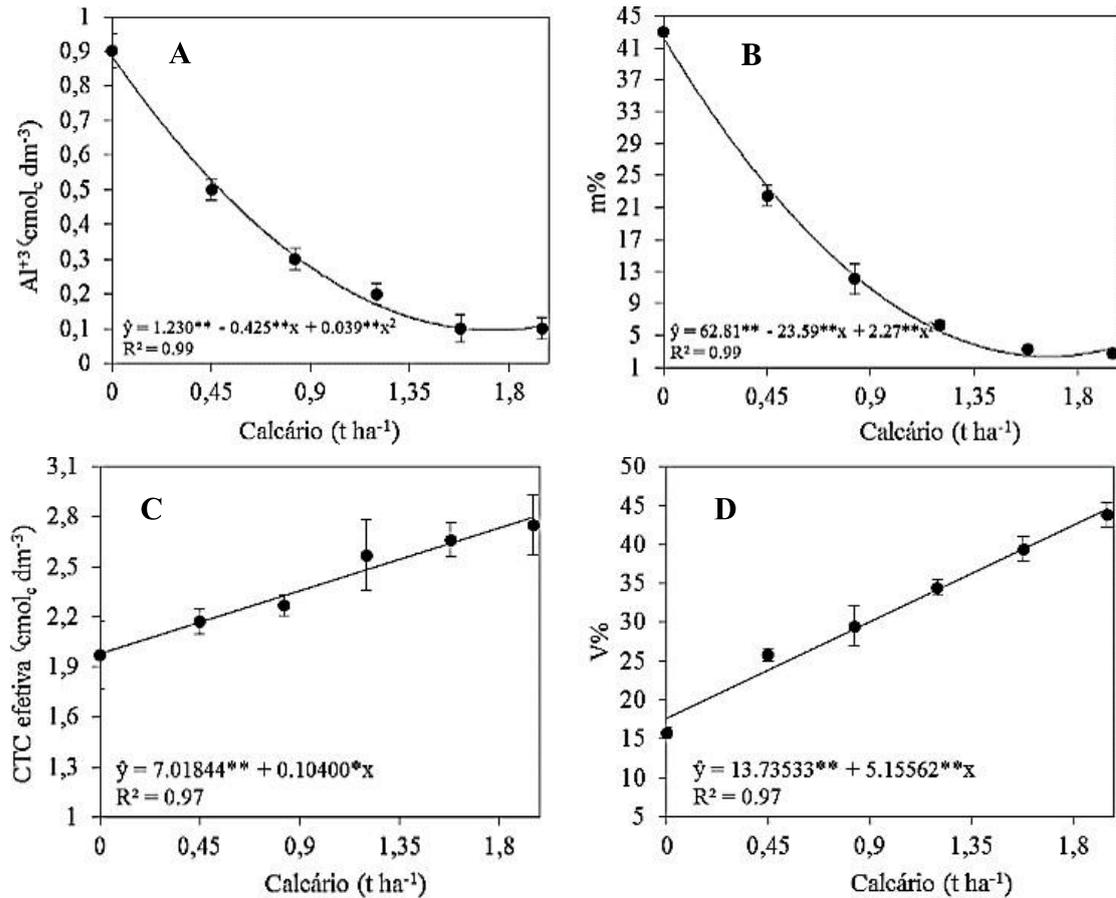


Figura 2: Influência da calagem no alumínio trocável (Al^{+3}), saturação por alumínio (m%), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%). *significativo a 5%, **significativo a 1%.

Aos 60 dias de incubação do calcário o solo já apresentava valor de pH dentro da faixa agrônômica considerada adequada para a cultura do coqueiro (5,0-5,5) (Malavolta, 2001). A calagem elevou o valor inicial do pH de 4,1 para valores acima de 5,0 nas doses de 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t ha⁻¹ (Figura 1A).

Com a aplicação do calcário há adição do ânion CO_3^{2-} (base forte) na solução do solo que é o principal responsável pela hidrólise da água e formação do íon OH^- , o qual irá neutralizar a acidez ativa (H^+) (NOVAIS, 2007). Além disso, com a prática da calagem há adição de Ca^{+2} e Mg^{+2} na solução do solo, e, conforme o aumento desses elementos no sistema, os íons H^+ vão sendo substituídos por íons Ca^{+2} e Mg^{+2} na região da dupla camada elétrica, assim, os teores de H^+ decrescem devido a reação de neutralização resultando no aumento de pH do solo (MACHADO, 2017).

Os teores de H + Al diminuíram com o aumento das doses de calcário (Figuras 1B). Resultados semelhantes foram encontrados por Moreira et al. (2010); Bambolim et al. (2015) e Vargas et al. (2017) que também encontraram influência da calagem na correção da acidez do solo. Embora a acidez potencial tenha decaído de forma significativa, o menor valor alcançado com a utilização da maior dose de calcário foi de $3,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 1B), assim, os níveis de calagem não foram suficientes para reduzi-la ao nível considerado ideal, ou seja, a baixo de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Machado, 2017). No entanto, devido grande parte dos valores dessa acidez pertencer ao H a acidez potencial sozinha não é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das culturas uma vez que esse H apresenta ligação covalente não estando disponível para trocas (SANTOS et al., 2015).

O P disponível passou de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no solo sem calagem para $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$ nas duas maiores doses de calcário (Figura 1C), aumento equivalente a 160%. No entanto, o máximo valor encontrado está bem abaixo do considerado ideal por Malavolta (2001), que corresponde a valores entre $20\text{-}30 \text{ mg dm}^{-3}$, sugerindo a necessidade de adubação fosfatada no solo em questão.

É importante analisar o efeito da calagem no aumento do P disponível, pois este aumento pode estar relacionado com a diminuição dos sítios de fixação do P no solo, uma vez que, com o aumento do pH o alumínio é neutralizado. Em solos ácidos, com altos teores de Al na solução, o P tende a precipitar formando fosfatos de Al que são compostos insolúveis, por isso, recomenda-se que seja feita calagem para eliminar o Al^{+3} antes da adubação fosfatada (MALAVOLTA, 2006).

O K^+ apresentou um leve decréscimo com o aumento das doses de calcário, passando de $0,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo sem calagem para $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose utilizada, redução equivalente a 28% (Figura 1D). O valor de K^+ considerado adequado é ($0,2\text{-}0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (MALAVOLTA, 2001). O equilíbrio entre os elementos químicos do solo é fundamental, dessa forma, o fornecimento de Ca^{+2} e Mg^{+2} por meio da calagem e o não fornecimento de K pode causar desequilíbrio entre esses nutrientes devido a propriedades químicas próximas (GUIMARÃES JUNIOR, 2013). O uso de calcário pode contribuir para a deficiência de K pois a calagem pode causar um desequilíbrio entre os teores de Ca, Mg e K nos solos, principalmente

quando se trata de solos arenosos com baixo teor de K. Dessa forma, o excesso de calcário pode ser tão prejudicial quanto a falta (NOVAIS, 2007).

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram influenciados positivamente (Figuras 1E e 1F, respectivamente). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Fageria et al. (2010), Auler et al. (2011), Anjos et al. (2011) e Vargas et al. (2017). Aos 60 dias, a aplicação de $1,95 \text{ t ha}^{-1}$ elevou o teor de Ca^{2+} de $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o valor de $1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 1E), incremento equivalente a 183%. Esse valor encontra-se dentro da faixa considerado adequado para a cultura do coqueiro ($1,5\text{-}2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (MALAVOLTA, 2001).

Assim como o Ca, o Mg também apresentou aumento em seu teor saindo de $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ do tratamento controle para $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com aplicação de $1,95 \text{ t ha}^{-1}$, incremento equivalente a 125% (Figura 1F). Esse valor de Mg também se encontra dentro dos valores considerados ideais na construção da fertilidade do solo para um bom crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas ($0,6\text{-}0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (MALAVOLTA, 2001). A relação Ca:Mg é uma característica importante a ser considerada na fertilidade do solo, sendo que a relação molar apropriada para a maioria das culturas é de 3:1 (NOVAIS, 2007).

O Al^{3+} decaiu de $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para valores em torno de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas doses de $1,58$ e $1,95 \text{ t}$ (Figura 2A). Para Malavolta (2001) valores entre $0,2\text{-}0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ já estão dentro de uma faixa considerada ideal para a maioria das culturas. Com o aumento do pH o alumínio precipita na forma de oxihidróxidos de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), dessa forma, os valores de alumínio tendem a zero em solos com o pH igual ou superior a 5,5 devido a solubilização desse cátion ser insignificante nessa faixa de pH. Esta é uma das razões pela qual a correção de solos ácidos é feita para se atingir um pH de pelo menos 5,5 (BRESSAN et al., 2013).

A saturação por alumínio foi significativamente reduzida com a aplicação da calagem saindo de 43%, valor presente no solo sem calagem, para 2,8% com aplicação de $1,95 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 2B). A percentagem de saturação por alumínio é também um bom indicador da acidez do solo e seu efeito sobre as culturas. De modo geral, a saturação por alumínio é fortemente influenciada pelo pH, diminuindo à medida que este aumenta (NOVAIS et al., 2007).

A calagem também influenciou positivamente tanto a CTC efetiva quanto V% (Figuras 2C e 2D, respectivamente). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Fageria et al. (2010), Auler et al. (2011), Bambolim et al. (2015), Anjos et al. (2011) e Vargas et al. (2017).

A CTC efetiva aumentou conforme o aumento das doses de calcário, saindo de 1,97 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo sem calagem, para 2,75 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo com aplicação de 1,95 t ha^{-1} (Figura 2C). Esse aumento da CTC pode estar relacionado a geração de cargas negativas no solo, que conseqüentemente, aumentam a retenção de bases trocáveis (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) (NOVAIS, 2007).

Embora o V% tenha aumentado significativamente com o aumento dos níveis de calagem, passando de 18% no tratamento controle para 43,8% com a aplicação de 1,95 t ha^{-1} , os resultados mostram que aos 60 dias da aplicação dos tratamentos, as quantidades de corretivo utilizadas não foram suficientes para alcançar as saturações por bases desejadas (Figura 2D), com a aplicação de 0,45; 0,83; 1,20, 1,58 e 1,95 t ha^{-1} desejava-se alcançar V% de 30,40,50,60 e 70%. O valor máximo de V% alcançado encontra-se dentro do valor considerado médio (39% – 40%) e abaixo do valor considerado adequado (50% – 60%) por Malavolta (2001). Este resultado pode ser reflexo do tempo de incubação, mostrando que 60 dias é insuficiente para a reação total do calcário. A melhoria dos atributos químicos do solo pela ação do calcário requer tempo e ocorre gradualmente. Trabalhos relacionados ao tempo de reação do calcário indicam que a reação máxima ocorre entre 4 e 33 meses após sua aplicação e depende de inúmeros fatores como reatividade do calcário, poder tampão do solo, entre outros (NATALE et al., 2008).

Altura, número de folhas, área foliar e produção de massa seca das plantas

A influência da calagem não foi significativa para altura das plantas e número de folhas e foi significativa para área foliar, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca total (Figura 3). Como inexistem resultados de literatura referentes à resposta da calagem no crescimento de mudas de coqueiro, a comparação dos resultados ficou limitado a outras culturas.

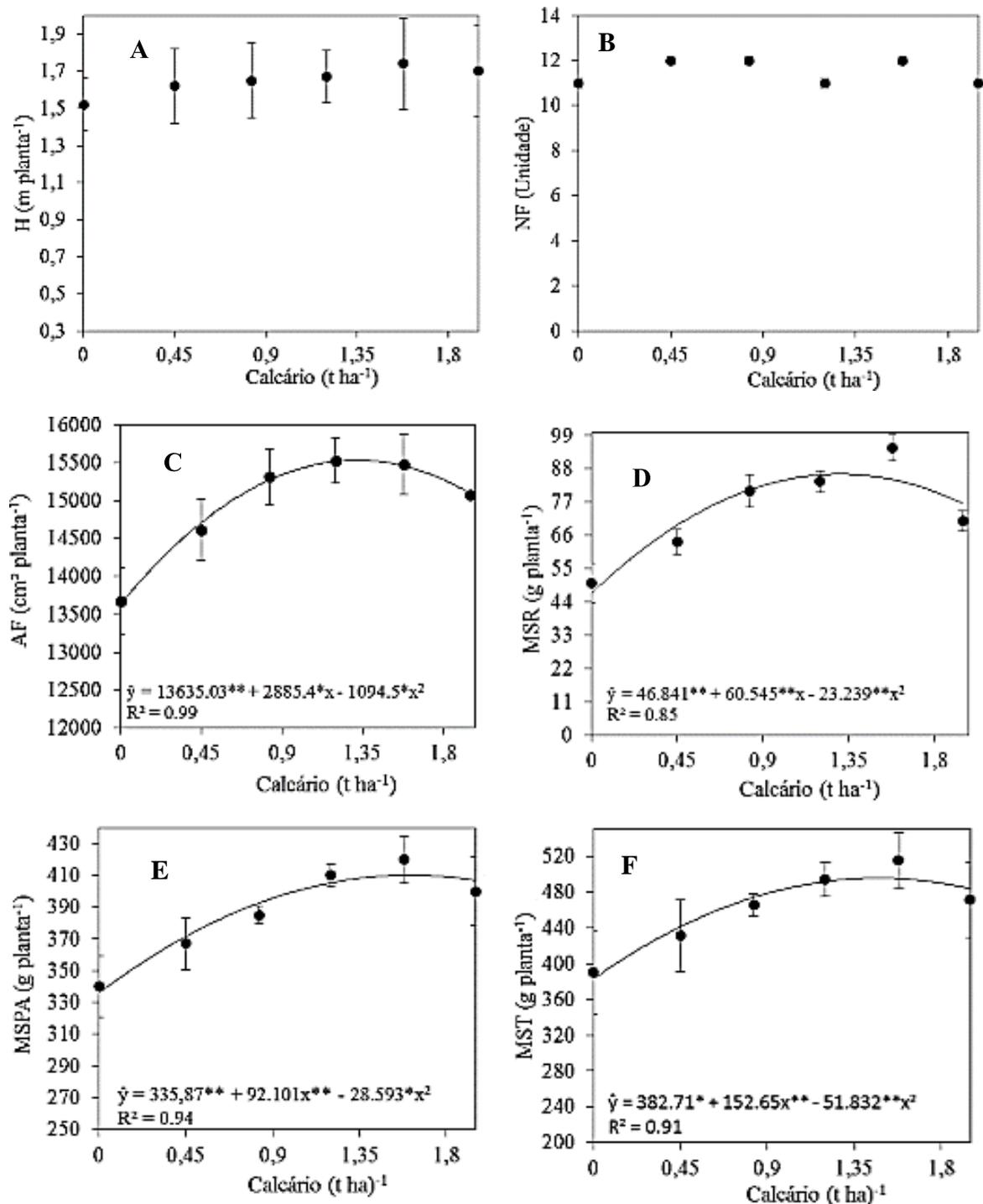


Figura 3- Influencia da calagem na Altura (H), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em mudas de coqueiro ano verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. Barras verticais indicam o erro padrão da média *significativo a 5%, **significativo a 1%.

A área foliar das mudas de coqueiro foi significativamente influenciada pela calagem. Todas as doses de calcário aumentaram a AF quando comparada com o tratamento controle (Figura 3C). As plantas cultivadas com calagem apresentaram incremento de 13% na AF com

as doses 1,20 e 1,58 t ha⁻¹ de calcário quando comparadas com as plantas cultivadas sem calagem. Observa-se que ocorreu decréscimo da AF com o maior nível de calagem utilizado e a quantidade de calcário a ser aplicado para máxima eficiência técnica deve ser de 1,31 t ha⁻¹. A influência da calagem no aumento da AF em culturas perenes tem sido demonstrada por Natale et al. (2008) e Natale et al. (2012), que encontraram resultados semelhantes ao desta pesquisa.

A AF é um fator importante que determina a interceptação de luz e portanto a eficiência da taxa fotossintética e transpiratória das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2002), assim, a avaliação da dimensão da AF é importante para a análise e compreensão do crescimento vegetativo e perda de água pela planta (SOUSA et al., 2005).

O aumento da AF proporcionado pela aplicação de calcário pode estar relacionado com o aumento do pH, redução de Al⁺³ e aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (SANTOS et al., 2010). A toxidez por Al⁺³ limita o crescimento das plantas principalmente através de seus efeitos adversos no crescimento e desenvolvimento das raízes. Com o sistema radicular prejudicado as plantas exploram uma área de solo reduzido e torna-se ineficiente na absorção de água e nutrientes essenciais para seu crescimento, refletindo diretamente na inibição da expansão da área foliar (Rivera, 2016).

Segundo Miguel (2010), o P influencia diretamente na expansão da AF. Sua deficiência além de diminuir a AF, afeta negativamente o número de folhas (PRADO, 2008), e também provoca o atrofiamento e enrolamento das folhas jovens (PEIXOTO, 2007). O valor do pH do solo, como um fator isolado, é o que mais afeta a disponibilidade de fósforo no solo, sendo o pH próximo de 6,5 o que promove a maior disponibilidade na solução do solo, e consequentemente, maior absorção pela planta (PRADO, 2008). Em solos ácidos, o P se liga ao Al e precipita formando fosfatos de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

A calagem é a estratégia que vem sendo utilizada para neutralizar o alumínio e consequentemente aumentar a disponibilidade de fósforo em solos ácidos da Amazônia (NOVAIS et al., 2007). O aumento do pH e a diminuição do alumínio faz com que íons fosfatados sejam liberados na solução do solo e fiquem disponíveis para as plantas (CAMARGO, 2010).

A MSPA, MSR e MST das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil foram significativamente influenciada pela calagem. Todos os níveis de calagem proporcionaram aumento nestas variáveis, sendo o maior valor obtido na dose 1,58 t ha⁻¹ de calcário (Figuras 3D, 3E e 3F, respectivamente). A quantidade de calcário a ser aplicado para máxima eficiência técnica é de 1,30 t ha⁻¹ para MSR; 1,61 t ha⁻¹ para MSPA e 1,72 t ha⁻¹ para MST.

Vários estudos têm mostrado resultados significativos da calagem na MSR, na MSPA e MST de culturas perenes. PRADO et al. (2004) ao estudarem a influência da calagem na nutrição do sistema radicular da caramboleira notou que o acúmulo da MSR foi beneficiado positivamente pela aplicação do calcário. Este resultado foi relacionado ao fato da aplicação do calcário levar à maior absorção de Ca pelas raízes da caramboleira. Viegas et al. (2017) ao pesquisarem os efeitos da calagem no crescimento e absorção de macronutrientes por mudas de mogno, observaram respostas positivas da cultura à aplicação dos tratamentos nos diversos parâmetros analisados, entre eles a MSR, a MSPA e a MST. Estas respostas foram associadas ao efeito do calcário no aumento do pH e consequente diminuição do alumínio tóxico.

Os efeitos do Al em concentrações tóxicas manifestam-se tanto na parte aérea como no sistema radicular, por meio de sintomas anatômicos e morfológicos e da redução do crescimento (HARTWIG et al., 2007). Em condições de elevada acidez do solo, o sistema radicular é mais afetado que a parte aérea, ocorrendo sérios prejuízos no alongamento das raízes e, como consequência, como já mencionado neste trabalho, as raízes ocupam menor volume do solo, diminuindo assim a possibilidade de absorção de nutrientes e água (NOVAIS et al., 2007). Além disso, em solo com pH baixo e saturado por Al⁺³ há inibição na absorção de cálcio e magnésio, e a atividade microbiana é afetada prejudicando a mineralização de nitrogênio, enxofre e fósforo, todos nutrientes essenciais para o crescimento das culturas (NOVAIS et al., 2007).

O resultado obtido na avaliação do crescimento radicular das mudas de coqueiro cultivadas em solo com aplicação de 1,58 t ha⁻¹ de calcário mostra a eficiência desta dosagem e evidencia a importância da calagem para mudas de coqueiro cultivados em solos ácidos (Figura 4).



Figura 4 - Comparação do sistema radicular de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas sem calagem (T0) e com calagem na dose de 1,58 t ha⁻¹ (T4).

O Al danifica as membranas das células das raízes e restringe a expansão das suas paredes, por isso elas não crescem adequadamente (BRADY; WEIL, 2013). Cerca de 95% do alumínio presente nas raízes das plantas está na parede celular e é responsável pela rápida e irreversível deslocamento e substituição de cálcio no apoplasto. Uma vez no citoplasma, o alumínio afeta os íons Ca⁺², Mg⁺² e K⁺. A exposição ao Al⁺³ afeta inicialmente o processo de alongamento celular e pode ligar-se aos grupos fosfato de DNA, causando um aumento na estabilidade da molécula que reduz sua capacidade de replicação, portanto inibe a síntese de DNA e divisão celular nas raízes expostas (RIVERA, 2016).

Nesse tocante, a calagem é a prática recomendada para correção da camada superficial de solos ácidos com altas concentrações de Al⁺³ (BRADY; WEIL, 2013). A calagem além de neutralizar o Al⁺³, reduzindo os efeitos negativos desse elemento no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, promove o fornecimento de Ca, nutriente essencial para o crescimento radicular uma vez que age diretamente no crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares (PRADO, 2008).

2.4 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que com 60 dias de incubação do calcário a fertilidade do solo melhorou significativamente, principalmente na redução da saturação por alumínio.

A calagem não influenciou altura e número de folhas, mas contribuiu para mitigar os efeitos da acidez do solo nas variáveis área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total.

A dose 1,58 t ha⁻¹ de calcário foi a que apresentou melhor resposta para todas as variáveis influenciadas positivamente, aumentou calcio, magnésio, pH, capacidade de troca catiônica e saturação por bases e reduziu potássio, alumínio e saturação por alumínio.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F. & LIMA JUNIOR, M. A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.11, p.1138–1142, 2011.
- AULER, P. A. M.; NEVES, C. S. V. J.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A. Calagem e desenvolvimento radicular, nutrição e produção de laranja “Valência” sobre porta-enxertos e sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.254-261, 2011.
- BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N. F.; SEBEN JUNIOR, G. F.; FERBONINK, G. F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 3, p.34-38, 2015.
- BRAGA NETO, A. M. Calagem na cultura da físalis. Dissertação (Mestrado – Programa de pós-graduação em produção vegetal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2017.
- BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; BARBOSA, R. S.; SOUSA, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Neossolo quartzarênico sob plantio direto no Cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 371-378, 2013.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- CAMARGO, M. S.; BARBOSA, D. S.; RRESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Phosphorus in Cerrado soils under liming conditions. **Biosci**. v. 26: p.187-194. 2010.
- CRISTANCHO, J. Á. R.; HANAFI, M.; OMAR, S. R. S.; RAFII, Y. M.; MARTINEZ, F. M.; CAMPOS, C. E. C. Alleviation of aluminum in acidic soils and its effect on growth of hybrid and clonal oil palm seedlings. **Journal of Plant Nutrition**. V.15, n. 6, p.37-41, 2011.
- CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará. 2010. 1º ed. **Revista atual**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 3º ed. Rio de Janeiro, 2013.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; MOREIRA, A. Yield, nutrient uptake and changes in soil chemical properties as influenced by liming and iron application in common bean in a no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.1740-1749, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras-MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GUIMARÃES JÚNIOR, M. P. A.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; RODRIGUES, M. O. D.; MARTINS, A. D. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agrônômicas de plantas forrageiras. **Revista brasileira saúde e produção animal**, v.14, n.3, Salvador, 2013.

LINS, P. M. P. & VIÉGAS, I. J. M. **Adubação do coqueiro no Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 28p., 2008.

SOUSA, E. F.; ARAUJO, M. C.; POSSE, R. P.; DETMANN, E.; BERNARDO, S.; BERBERT, P. A.; SANTOS, P. A. Estimating the total leaf area of the green Dwarf coconut tree (*cocos nucifera* l.). **Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)**, v.62, n.6, p.597-600, 2005.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHIMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P. MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. R. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.28, n. 2, p. 219-228, 2007.

MACHADO, A. F. **Dissolução, doses de calcário, métodos e disponibilidade de nutrientes em cinco solos do Tocantins**. Dissertação. Universidade Federal do Tocantins. 61p., 2017.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MARTINS, C. R. & JUNIOR, L. A. J. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. M.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v.24, 2010.

MOREIRA, A. & FAGERIA, N. K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34 p.31-39, 2010.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NATALE, W.; PRADO, R. M, ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI,R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

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

PRADO, R. M. & NATALE, W. A CALAGEM NA NUTRIÇÃO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICAL DA CARAMBOLEIRA. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.3, n.1, p.3-8, 2004.

PEIXOTO, P. H. O.; PIMENTA, D. S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 17-25, 2007.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, v.63, p.105-119, 2004.

SANTOS, M. M. S. **Ecofisiologia do coqueiro gigante sob diferentes condições de umidade e salinidade do solo no litoral oeste do estado do ceará**. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 81, 2018.

SANTOS, A. C.; LIMA, J. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; SILVA NETO, S. P. Variabilidade espacial das características qualitativas e quantitativas da pastagem de capim Marandú em topossequência no Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 3, p. 83-89, 2015.

SILVA, V. da; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.551-559, 2008.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Piracicaba, Potafos**, 16p. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3^o.ed. Sunderland: Sinauer Associates, p.423-460, 2002.

VARGAS, G. & MARQUES, R. Crescimento e Nutrição de Angico e Canafístula sob Calagem e Gessagem. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

VIEGAS, I. J. M.; SILVA, G. R.; SILVA JUNIOR, M. L.; GAMA, M. A. P. OKUMURA, R. S.; FRAZÃO, D. A. C.; MATOS, G. S. B.; DOUZA JUNIOR, J. C. LIMA, E. V.; GALVÃO, J. R. Growth and mineral nutrition of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings subjected to lime in Yellow Alic Latosol. **Australian journal of crop Science**, v. 11, p. 1297-1303, 2017.

3. ESTADO NUTRICIONAL E TROCAS GASOSAS DE MUDAS DE COQUEIRO ANÃO-VERDE DO BRASIL SUBMETIDAS À CALAGEM

RESUMO

As maiores plantações e produções de coqueiro no Brasil se concentram na faixa litorânea do Nordeste e parte da região Norte do Brasil. A capacidade de produzir coco capaz de atender a demanda do mercado depende de inúmeros fatores entre eles substratos com boas propriedades químicas para cultivo de mudas de qualidade, sendo que, geralmente mudas produzidas com utilização de substratos com baixo pH podem sofrer efeitos negativos de elementos tóxicos além de deficiência nutricional pela indisponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais. Dessa forma, a realização da prática de calagem no processo de formação de plântulas é de fundamental importância, pois além de aumentar o pH do substrato, neutraliza os elementos tóxicos, favorece o aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes essenciais ao bom crescimento e desenvolvimento das mudas. Neste contexto, objetivou-se demonstrar os efeitos da calagem nas trocas gasosas e na concentração de macro e micronutrientes na raiz e nas folhas de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação, no período de março a novembro de 2018. Os tratamentos consistiram em cinco doses de calcário dolomítico (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t ha⁻¹) tendo em vista saturação por bases (V%) de 30, 40, 50, 60 e 70%, respectivamente, e uma testemunha, sem calcário (V% igual 18), com cinco repetições em blocos ao acaso. Os resultados mostraram que a calagem promoveu maior absorção de cálcio, magnésio, ferro e zinco e, menor concentração de alumínio nas raízes das mudas; promoveu maiores concentrações de cálcio, magnésio e fósforo, e redução na concentração de nitrogênio, boro, cobre, ferro, manganês e alumínio no tecido foliar das mudas e, promoveu melhoria das trocas gasosas pela maior atividade fotossintética, maior taxa transpiratória, maior condutância estomática e maior concentração intercelular de gás carbônico. Conclui-se que, com relação a concentração dos nutrientes na raiz as maiores concentrações foram encontradas na dosagem de 1,95 t ha⁻¹ de calcário, enquanto que, as concentrações de nutrientes no tecido foliar, assim como os parâmetros de trocas gasosas apresentaram melhores resultados na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, com exceção da eficiência de uso intrínseco e instantâneo da água que apresentaram redução na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário.

PALAVRAS CHAVE: Absorção de nutrientes, Concentração de nutrientes, Fotossíntese.

3. NUTRITIONAL STATE AND GAS EXCHANGES OF GREEN DWARF COCONUT TREES OF BRAZIL SUBMITTED LIMING

ABSTRACT

The largest plantations and coconut production in Brazil are concentrated in the coastal strip of the Northeast and part of the northern region of Brazil. The ability to produce coconut able to meet market demand depends on numerous factors among them substrates with good chemical properties for cultivating quality seedlings, and generally seedlings produced using low pH substrates can suffer negative effects of toxic elements as well as nutritional deficiency due to the unavailability of most essential nutrients. Thus, the practice of liming in the process of seedling formation is of fundamental importance, because in addition to increasing the pH of the substrate, neutralizes the toxic elements, favors the increase of the availability of macro and micronutrients essences to the good growth and development of the seedlings. In this context, the objective was to demonstrate the effects of liming on gaseous exchanges and macro and micronutrient concentration on roots and leaves of Brazilian dwarf coconut seedlings. The experiment consisted of five doses of dolomitic limestone (0.45, 0.83, 1.20, 1.58 and 1.95, respectively) t ha⁻¹) for base saturation (V%) of 30, 40, 50, 60 and 70%, respectively, and one control, without limestone (V% equal to 18), with five randomized blocks. The results showed that liming promoted higher calcium, magnesium, iron and zinc absorption and lower aluminum concentration in the roots of the seedlings; promoted higher concentrations of calcium, magnesium and phosphorus, and reduced nitrogen, boron, copper, iron, manganese and aluminum concentrations in the leaf tissue of the seedlings and promoted improved gas exchange due to greater photosynthetic activity, higher transpiration rate, higher stomatal conductance and higher intercellular carbon dioxide concentration. It is concluded that, in relation to the concentration of nutrients in the root, the highest concentrations were found in the dosage of 1.95 t ha⁻¹ of limestone, while the nutrient concentrations in the leaf tissue, as well as the parameters of gas exchange showed best results in the dosage of 1.58 t ha⁻¹ of limestone, with the exception of the intrinsic and instantaneous water efficiency that presented reduction in the dosage of 1.58 t ha⁻¹ of limestone.

KEYWORDS: Nutrient Absorption, Nutrient Concentration, Photosynthesis.

3.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de coqueiros (*Cocos nucifera* L.) tem crescido constantemente nos últimos anos, não apenas na América Latina, mas em várias partes do mundo (PRADO et al.; 2013). O Brasil, atualmente, possui uma tendência de crescimento do cultivo do coqueiro anão, distribuídos, praticamente, em todo o território nacional. Apesar do cultivo do coqueiro está sendo estimulado e introduzido em várias regiões do país, as maiores plantações e produções se concentram na faixa litorânea do Nordeste e parte da região Norte do Brasil, favorecidas pelas condições climáticas tropicais. Ambas as regiões detêm aproximadamente 75% da produção de coco brasileiro (GOMES DO Ó, 2017).

A capacidade de produzir coco capaz de atender a demanda do mercado depende de inúmeros fatores além das condições climáticas favoráveis, depende também de solos com boas propriedades para cultivo e de mudas de qualidade (FONTES et al., 2002). A produção de mudas de qualidade depende de vários fatores, sendo a composição dos substratos um fator de grande importância, pois a germinação de sementes, a iniciação radicular e o enraizamento estão diretamente ligados às características químicas, físicas e biológicas do substrato (CALDEIRA et al., 2008).

No entanto, substratos originados a partir da camada superficial de solos amazônicos apresentam geralmente baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes (SILVA et al., 2008). A baixa fertilidade desses solos está diretamente relacionada com a sua acidez elevada (NEVES NETO et al., 2012). Mudas produzidas com utilização de substratos com baixo pH podem sofrer efeitos negativos de elementos tóxicos além de deficiência nutricional pela indisponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais (VIÉGAS et al., 2017).

A realização da prática de calagem no processo de formação de plântulas é de fundamental importância, pois além de aumentar o pH do substrato, neutraliza os elementos tóxicos, favorece o aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes essenciais ao bom crescimento e desenvolvimento das mudas, o que irá refletir em plantas com melhor potencial produtivo do que as cultivadas em solos ácidos (ARAÚJO et al., 2009). Além disso, como aplicação de corretivo favorece o maior acúmulo de nutrientes foliares isso reflete diretamente nas trocas gasosas de diferentes espécies vegetais (SILVA et al.; 2006).

A hipótese do segundo capítulo é que a calagem melhora os processos fisiológicos e nutricionais de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. O objetivo foi demonstrar os efeitos da calagem nas trocas gasosas e na concentração de macro e micronutrientes na raiz e nas folhas de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Implantação e condução do experimento

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, no período de março a novembro de 2018. As coordenadas geográficas do local do experimento são 48°26'07''W e 1°27'07''S. As mudas de coqueiro da variedade anão-verde do Brasil, inicialmente com 4 meses de idade, foram obtidas a partir de produção da fazenda Reunidas Sococo localizada no município de Santa Isabel do Pará (PA). Foram transplantadas 30 mudas para vasos com capacidade volumétrica para 17 dm³.

O solo utilizado como substrato foi proveniente do município de Santa Isabel do Pará (PA), obtido da camada arável de 0 a 20 cm, classificado como Neossolo quartzarênico (EMBRAPA, 2013). Antes da aplicação dos tratamentos amostras de solo foram coletadas para avaliação das propriedades químicas e físicas (Tabela 1). Não houve adubação antes da implantação do experimento, a exigência nutricional da planta foi atendida ao longo do experimento de acordo com o recomendado para de mudas de coqueiro (LINS; VIÉGAS, 2008).

Tabela 1: Caracterização química e granulométrica do Neossolo quartzarênico, camada 0-20 cm antes da incubação do calcário e interpretação dos dados para coqueiro em solos de baixa CTC (4 % a 5 %) – Malavolta (2001).

pH H ₂ O	pH CaCl ₂	H+Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	K ⁺	CTC pH7	P disponível	S	V%	m%
-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----			%		
4,2	3,4	2,8	0,4	0,2	0,8	0,01	3,42	1	21	18	56,34
Interpretação dos valores											
Baixo	Baixo	-----	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Adequado	Baixo	Excessivo
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia		Silte		Argila		
-----mg dm ⁻³ -----					-----g kg ⁻¹ -----						
0,24	0,1	128	1	0,4	861,7		47,6		90,7		
Interpretação dos valores											
Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Textura arenosa						

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram na aplicação de cinco doses de calcário dolomítico (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t.ha⁻¹) tendo em vista saturação por bases (V%) de 30, 40, 50, 60 e 70%, respectivamente, e uma testemunha, sem calcário (V% igual 18), com cinco repetições, perfazendo 30 unidades experimentais.

As doses de calcário foram calculadas de acordo com o critério de saturação por bases estipulado para 17 kg de solo, obtidas pela expressão seguinte, de acordo com Lins e Viegas (2008).

$$NC = \frac{(V2 - V1) \times T}{PRNT}$$

Em que:

NC: Necessidade de calagem (t ha⁻¹)

V2: Saturação de bases desejada (%)

V1: Saturação de bases atual do solo (%)

T: Capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC) (cmol_c dm⁻³)

PRNT: Poder relativo de neutralização total

Utilizou-se calcário dolomítico (CaCO₃.MgCO₃) com PRNT igual a 91%, contendo 32% de CaO e 15% de MgO. O calcário foi aplicado por vaso, homogeneizado em sacos plásticos e adicionado água destilada na quantidade para manter o solo em 80% da capacidade de campo (Salvador et al. 2011). Durante o período de incubação, a cada 3 dias foi realizada uma nova homogeneização e, quando necessário, o reumedecimento a fim de garantir a eficiência da reação do calcário com o solo.

O transplântio das mudas foi realizado com 60 dias após a incubação do calcário, na ocasião, amostras de solo foram retiradas para verificação da fertilidade do solo no momento do transplântio das mudas de coqueiro para os vasos.

As mudas foram adubadas no primeiro, terceiro e quinto mês de idade com 1,35; 2,7 e 4,05 g/planta de N; 7,2; 14,4 e 21,6 g/planta de P; 6, 12 e 18 g/planta de K; 1,5; 3 e 4,5 g/planta de Mg, respectivamente e 0,3 g/planta de B no quinto mês. Os reagentes utilizados para a

fertilização foram ureia, superfosfato simples, cloreto de potássio, óxido de magnésio e boráx (LINS; VIÉGAS, 2008).

A irrigação foi realizada diariamente, onde a reposição da água perdida por evapotranspiração se deu pelo método gravimétrico, com auxílio de balança digital, tendo como referência a massa do conjunto solo (S) + vaso (V) + umidade (U) a 80% capacidade de campo. A massa que o sistema S+V+U deveria apresentar era de 21kg, o faltante era completado com água destilada.

Trocas gasosas

As trocas gasosas foram avaliadas no terceiro folíolo da quarta folha totalmente expandida de cada planta. Foram realizadas avaliações das taxas de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea do uso da água (E_{isUA}) e eficiência intrínseca do uso da água (E_{icUA}) de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil aos 240 dias após o transplântio, com o auxílio de um analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, modelo LI-6400XT, da marca LICOR®). Foram avaliadas cinco plantas por tratamento. A intensidade luminosa artificial utilizada nas avaliações das trocas gasosas foi de $1.000 \mu mol m^{-2} s^{-1}$, sendo mantidas as condições ambientais de temperatura do ar e concentração de CO_2 . As avaliações foram realizadas no turno da manhã, entre 9:00 e 11:00 h, horário propício a manutenção das condições de temperatura e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação.

Concentração de alumínio, macro e micronutrientes na folha e na raiz

Aos 240 dias após o transplântio, amostras de folha e raiz das plantas de coqueiro foram coletadas para avaliação da concentração de alumínio, macro e micronutrientes. Após coletadas, as folhas e raízes foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel identificados e levadas para secar em estufa com circulação de ar, temperatura em torno de $60^\circ C$. O tempo de secagem das amostras foi definido por meio de pesagens realizadas até a obtenção de massa constante. Após atingirem massa constante, o material seco foi triturado em moinho do tipo Willey (modelo MA 340, Marconi, BR) e as amostras encaminhadas ao Instituto Brasileiro de Análises (IBRA), localizado na cidade de São Paulo, para determinação dos teores de alumínio (Al); dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio

(Mg); e dos micronutrientes: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (B) e cloro (Cl) na folha e na raiz.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando o teste F foi significativo realizou-se análise de regressão por meio do programa SISVAR com $P < 0,05$ (FERREIRA, 2011). Quando possível foi realizado através das equações de regressão o cálculo da máxima eficiência técnica.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentração de macronutrientes e alumínio na raiz

A calagem influenciou de forma significativa as concentrações de cálcio, magnésio, nitrogênio e alumínio, e não influenciou as concentrações de fósforo e potássio nas raízes de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico (Figura 1).

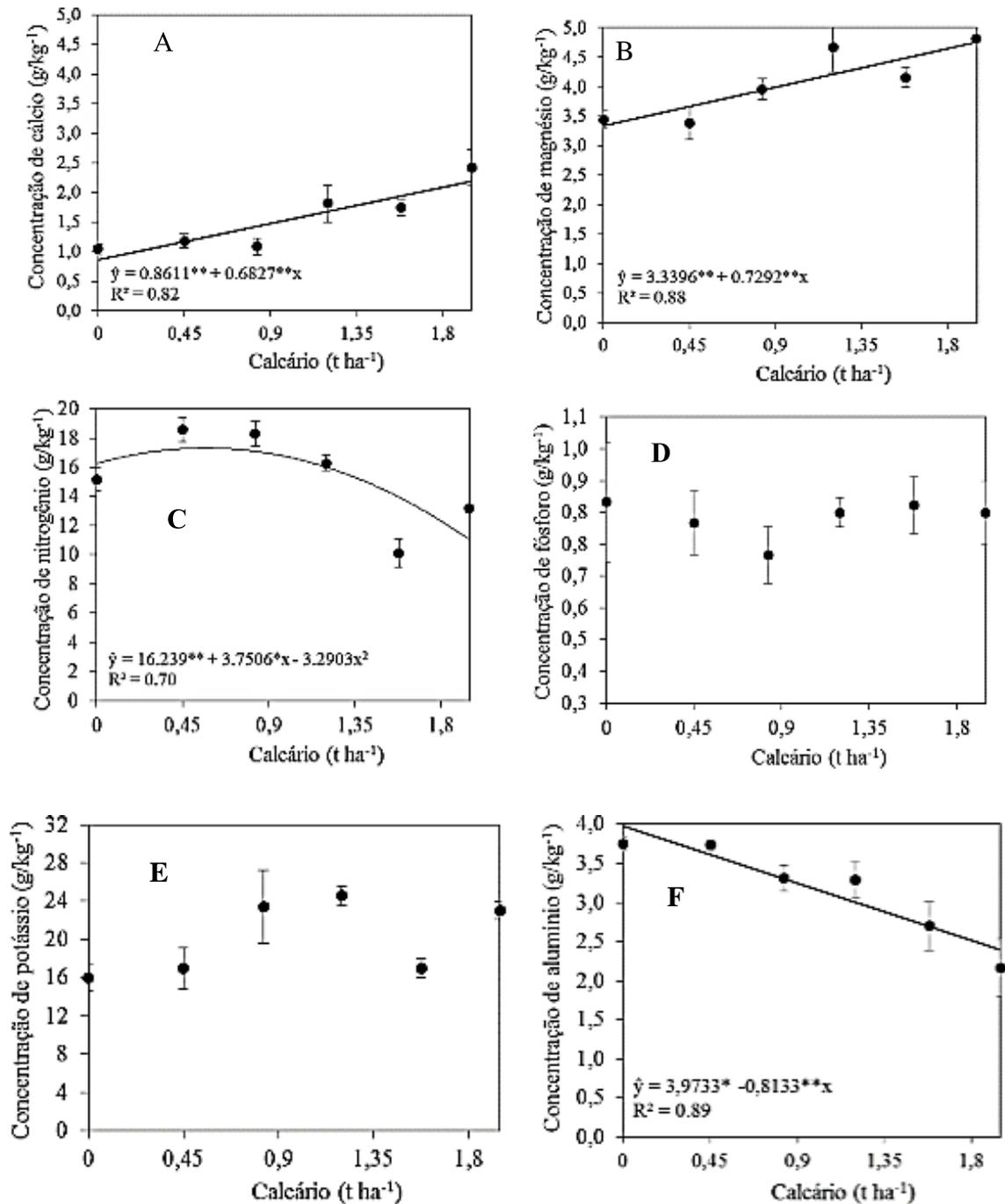


Figura 1: Influência da calagem na concentração de cálcio (A), magnésio (B), nitrogênio (C), fósforo (D), potássio (E) e alumínio (F) nas raízes de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. *significativo a 5%, **significativo a 1%.

A calagem influenciou de forma linear a concentração de cálcio na raiz. A maior concentração encontrada foi de 2,4 g kg⁻¹ na dose de 1,95 t ha⁻¹ de calcário, resultando em incremento acima de 100% (Figura 1A). Essa resposta pode estar relacionada ao aumento da disponibilidade de cálcio, com conseqüente aumento do pH e neutralização do alumínio no solo. Geralmente em solos com pH abaixo de 5,5 apresentam limitação na absorção de cálcio devido a elevadas concentrações de H⁺ e Al⁺³ (NOVAIS et al., 2007).

Além disso, é possível que o aumento na absorção do cálcio nas mudas com maiores doses de calcário esteja relacionado com o benefício que a calagem traz promovendo maior crescimento e desenvolvimento do sistema radicular ao aumentar o pH e neutralizar o Al⁺³ tóxico. Solos com elevadas concentrações de Al⁺³ afetam também o sistema radicular das plantas, sendo os sintomas mais comuns de toxicidade de alumínio raízes com membranas danificadas, sistema radicular atrofiado com raízes pequenas e grossas, cujas ramificações apresentam pouco crescimento lateral, tornando-se ineficiente na absorção de nutrientes (BRADY; WEIL, 2013).

Como o caminamento do cálcio até as raízes ocorre tanto por fluxo de massa como também pela interceptação radicular, torna-se de extrema importância que a planta tenha sistema radicular bem desenvolvido para que a maior parte das raízes entrem em contato com o cálcio para que haja absorção, já que a absorção desse elemento é feita unicamente nas raízes jovens (terciárias e quartanárias (PRADO; NATALE, 2004).

Outro fator importante a ser considerado é o antagonismo Al x Ca. Em solo com baixo pH e excesso de alumínio é possível que o antagonismo Al x Ca seja o fator mais limitante na absorção de cálcio. Plantas cultivadas em solos com valores de pH menor que 5,5 o alumínio pode inibir a absorção de cálcio, principalmente como resultado do bloqueio ou competição nos sítios de troca (PRADO, 2008).

O aumento linear na concentração de cálcio na raiz de culturas perenes também foi encontrado por Prado et al. (2004). Os autores explicaram os resultados com o fato da calagem aumentar a disponibilidade e absorção de cálcio pela planta proporcionando maior sistema radicular e, além disso, os autores enfatizaram que a importância do cálcio para as plantas deve-se ao fato de que cerca de 60% do cálcio celular está presente na parede celular, assim, a

principal função desse nutriente é estrutural, como integrante da parede celular. Normalmente, quando as células crescem, aumenta a superfície de contato entre elas, aumentando também a necessidade do suprimento de pectato de cálcio para a formação da pectina, conferindo a alongação da parede celular até atingir o tamanho final (PRADO et al., 2004).

A concentração de magnésio também aumentou de forma linear, com incremento de 39% nas raízes das plantas cultivadas com a dose de 1,95 t ha⁻¹ de calcário em comparação com as plantas cultivadas sem calagem (Figura 1B). De maneira geral, a absorção de magnésio pelas culturas depende da concentração e da sua disponibilidade no solo (Prado, 2008), assim, o aumento da concentração de magnésio nas raízes das mudas analisadas deve estar relacionado com a diminuição da acidez e o aumento da concentração de íons magnésio na solução do solo pela calagem. Ademais, em solo ácido é possível que haja competição entre H⁺, Al⁺³ e Mg⁺² sendo necessário pH acima de 5,5 para que o magnésio consiga ser retido nos sítios de absorção (FERNANDES, 2006).

A concentração do elemento na solução do solo influencia tanto a absorção como a velocidade de absorção, pois, quando a concentração do elemento é mínima a velocidade de absorção é muito lenta, quase zero; à medida que aumenta a concentração dos íons na solução, aumenta a velocidade de absorção (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Este fato é importante quando se trata de magnésio devido a facilidade desse elemento em sofrer lixiviação, principalmente em solos com textura arenosa como é o caso do solo da camada arável usado neste trabalho.

Já para a concentração de nitrogênio na raiz o melhor ajuste se deu para o modelo quadrático, onde as doses 0,45 e 0,83 t ha⁻¹ de calcário proporcionaram incrementos, já as maiores dosagens apresentaram menores concentrações de nitrogênio na raiz de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil (Figura 1C). A dose de máxima eficiência técnica foi de 0,57 t ha⁻¹ de calcário. Embora a menor concentração de nitrogênio tenha sido encontrada na dose de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, ao levar em consideração que nessa dosagem as mudas tiveram maior massa seca de raiz, conforme pode ser verificado na figura 4 do capítulo anterior, que mostra a produção de massa seca da raiz em função da calagem, esse resultado mostra que a quantidade de nitrogênio absorvida pelas plantas submetidas a este tratamento foi suficiente para propiciar maior acúmulo de massa seca na planta.

O nitrogênio desempenha papel importante no crescimento e na produção das culturas, participando de diversos processos fisiológicos vitais para o ciclo de vida das plantas (TAIZ et al., 2017). Quando fornecido em quantidades adequadas, favorece o crescimento da raiz pelo fato de que o crescimento da parte aérea aumenta a área foliar e a fotossíntese e, com isso, maior fluxo de carboidratos para a raiz, favorecendo o seu crescimento (PRADO, 2008).

A concentração de alumínio teve melhor ajuste para o modelo linear, com redução de 42% nas raízes das plantas cultivadas com a dose de 1,95 t ha⁻¹ de calcário quando comparado com as plantas cultivadas sem adição de calcário (Figura 1F). Observa-se que a concentração de alumínio se encontra presente em todas as mudas analisadas, no entanto, o teor elevado de alumínio nas mudas cultivadas com calagem deve-se provavelmente ao fato de que as mesmas foram produzidas e permaneceram durante quatro meses em substrato com baixo pH e elevadas quantidades de alumínio trocável (Tabela 1). Mesmo porque, no momento da implantação do experimento o solo que recebeu as doses de 1,58 e 1,95 t ha⁻¹ de calcário apresentava saturação por alumínio abaixo de 3% (Figura 2B) apresentada no primeiro capítulo.

Este resultado mostra a importância da correção da acidez do solo para neutralização do alumínio presente no substrato utilizado na produção de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil, pois quando o alumínio penetra na raiz e a maior parte dele ali permanece, diversos danos são causados no sistema radicular da planta, uma vez que, além do alumínio danificar as membranas das células das raízes, também interfere no metabolismo dos compostos que contêm fósforo, essenciais para a transferência de energia (ATP) e do código genético (DNA) interferindo de forma negativa no crescimento e desenvolvimento das raízes como um todo (BRADY; WEIL, 2013), como foi observado neste estudo (Figura 4) do primeiro capítulo.

Concentração de micronutrientes na raiz

A calagem promoveu variações significativas nas concentrações de zinco e manganês, e não significativas para boro, cobre, ferro e cloro nas raízes de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico (Figura 2).

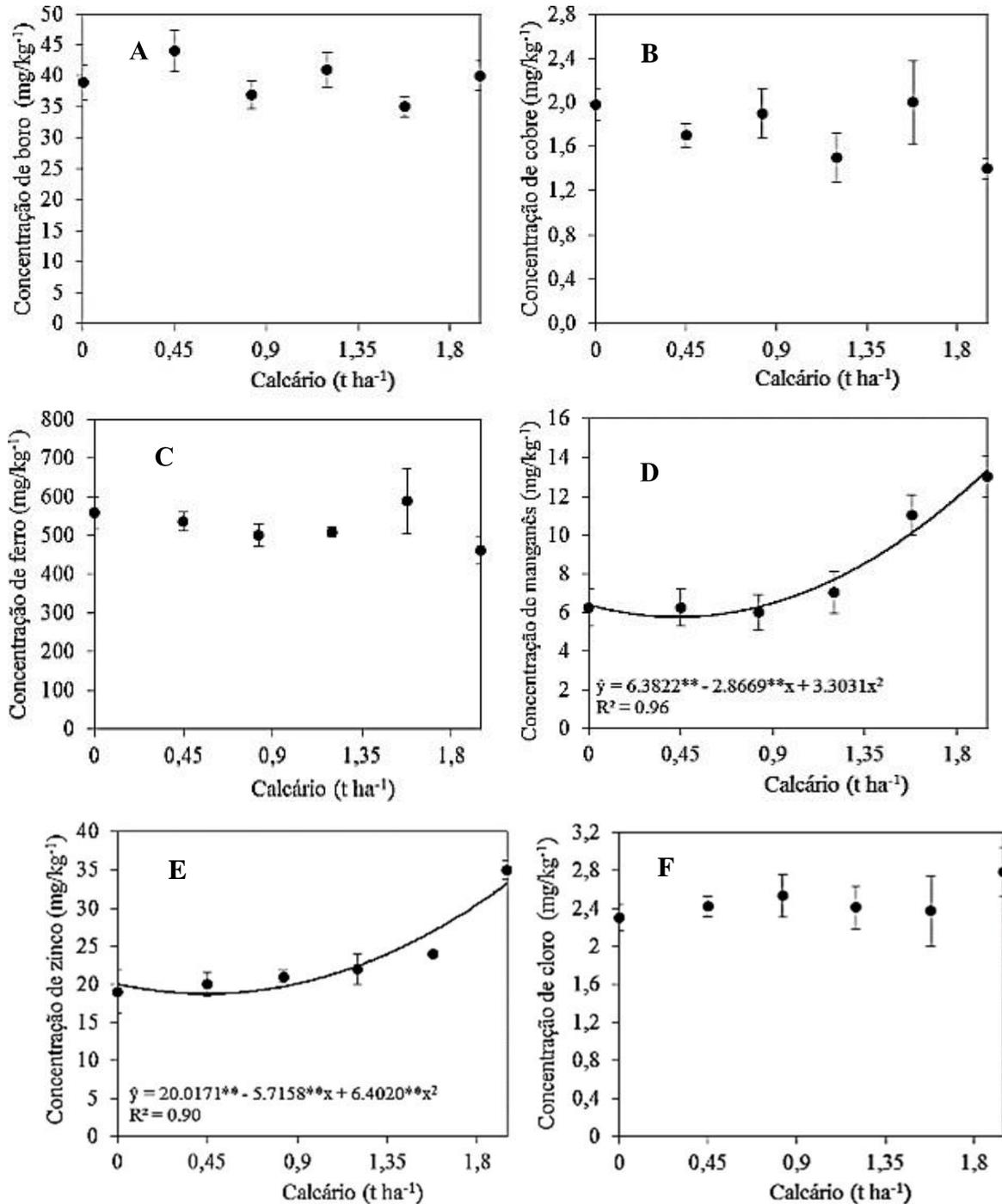


Figura 2: Influência da calagem na concentração de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e cloro (F) nas raízes de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. Barras verticais indicam o erro padrão da média. *significativo a 5%, **significativo a 1%.

A calagem aumentou de forma quadrática as concentrações de manganês na raiz das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil (Figura 2D). As mudas cultivadas com adição de 1,58 e 1,95 t ha⁻¹ de calcário tiveram incremento de 76% e 100%, respectivamente, na concentração de manganês na raiz em comparação com o tratamento controle.

Quando se trata da disponibilidade de manganês é de extrema importância a manutenção do pH do solo em faixas adequadas, solo muito ácido tem altas concentrações de manganês, mas também, solos que recebem altas doses de calcário induz a baixa disponibilidade desse micronutriente podendo causar deficiências nas plantas (PRADO, 2008). Neste estudo, a aplicação de calcário elevou o pH até 5,87, valor dentro da faixa considerada ideal para absorção de manganês (ABREU et al., 2007).

A calagem aumentou também a concentração de zinco na raiz, o melhor ajuste se deu para o modelo quadrático (Figura 2E). Observou-se que as plantas cultivadas com calagem apresentaram aumento da concentração de zinco na raiz, incremento correspondente a 84% com a maior dose utilizada. O zinco é um dos micronutrientes mais afetados pelo pH, a sua maior disponibilidade ocorre na faixa de pH 5,0 a 6,5 (ABREU et al., 2007), isso justifica o fato das maiores concentrações terem sido encontradas nas dosagens de 1,58 e 1,95 t ha⁻¹ de calcário, pois com essas quantidades de corretivo os valores de pH ficaram em torno de 5,5 e 5,8, respectivamente.

Quando se trata da disponibilidade de micronutrientes catiônicos como é o caso do manganês e do zinco, a aplicação de calcário deve ser feita de forma moderada, pois alta quantidade desse corretivo pode causar deficiência desse elemento no solo e conseqüentemente na planta, principalmente quando cultivadas em solos arenosos devido seu baixo podertampão (BRADY; WEIL, 2013).

O efeito da calagem sobre a disponibilidade de zinco tem sido demonstrado em diversos estudos (SACCIOLY et al., 2004; MELLO, et al., 2008; RODRIGUES et al., 2017). Os autores verificaram que ao utilizarem dosagens acima de 3 t ha⁻¹ de calcário, o pH do solo foi elevado para próximo da neutralidade reduzindo de forma significativa o teor de zinco disponível no solo, essa redução foi atribuída à diminuição das formas livres de Zn⁺² pela formação de compostos do Zn com o OH⁻ (ABREU et al., 2007).

Concentração de macronutrientes e alumínio na folha

A aplicação de calcário promoveu variações significativas nas concentrações de cálcio, magnésio, nitrogênio, fósforo e alumínio e não significativas para potássio no tecido foliar de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico (Figura 3).

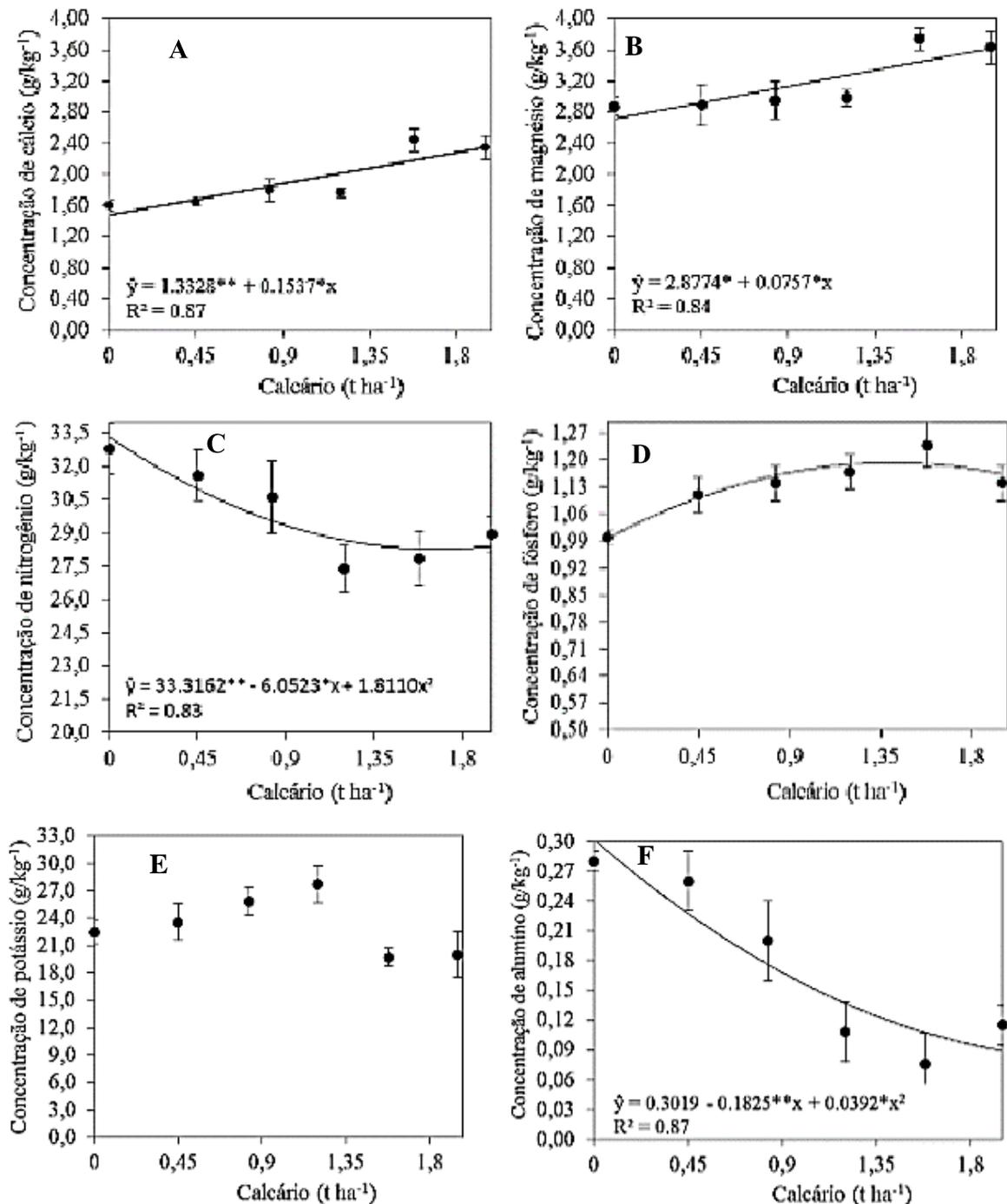


Figura 3: Influência da calagem na concentração de cálcio (A), magnésio (B), nitrogênio (C), fósforo (D), potássio (E) e alumínio (F) nas folhas de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. *significativo a 5%, **significativo a 1%.

A calagem promoveu aumento na concentração de cálcio no tecido foliar apresentando modelo de regressão linear (Figura 3A). Com a calagem foi possível elevar a concentração de cálcio de $1,60 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas cultivadas sem aplicação de calcário para $2,44 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas com aplicação de $1,58 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário. Embora o nível crítico de cálcio estabelecido por Embrapa (2016) para plantas jovens de coqueiro anão-verde de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ não tenha sido alcançado, observa-se que a calagem aumentou em 53% a concentração de cálcio quando comparado com as plantas cultivadas sem calagem. Esta situação evidencia a eficiência da calagem para aumento da concentração de Ca e a necessidade de correção do substrato para a produção de mudas sob risco de se ter plantas com elevado grau de deficiência em Ca.

A influência da calagem no aumento da absorção de cálcio em plantas perenes tem sido demonstrada por diversos autores, entre eles Prado et al. (2004), que estudaram os efeitos da calagem na nutrição de goiabeiras; Natale et al. (2008), onde buscaram entender a influência do calcário na nutrição e crescimento da cultura da carambola; e, Viegas et al. (2017), que verificaram implicações positivas da adição de calcário dolomítico na nutrição de mudas de mogno. O efeito positivo da calagem na concentração de cálcio na folha, assim como na raiz, é reflexo da maior absorção desse nutriente atribuído ao aumento do pH, diminuição do alumínio e o aumento de cálcio no solo (NOVAIS, 2007).

Assim como para o cálcio, houve aumento linear na concentração de magnésio na folha com o aumento da dose de calcário (Figura 3B). Com a calagem foi possível elevar a concentração de magnésio de $2,87 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas cultivadas sem aplicação de calcário para $3,74 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas com aplicação de $1,58 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, aumento equivalente a 30,3%. Como o nível crítico de magnésio para plantas jovens de coqueiro anão-verde do Brasil é $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ (EMBRAPA, 2016), esse resultado mostra a eficiência da calagem na absorção de magnésio medido pela concentração no tecido foliar das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. A eficiência da calagem no aumento da concentração de magnésio é demonstrada em vários estudos (PRADO et al., 2004; NATALE et al., 2012; BRAGA NETO, 2017).

A concentração de nitrogênio sofreu redução com a aplicação de calcário, com melhor ajuste para o modelo quadrático (Figura 3C). As menores concentrações foram encontradas no tratamento com aplicação de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,58 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, valores referentes a $27,4$ e $27,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. No entanto, observa-se que, mesmo as plantas com menor concentração

de nitrogênio encontram-se com valores acima do valor crítico estabelecido para plantas jovens de coqueiro-anão que é de 21 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 2016). Esse resultado mostra que em mudas de coqueiro anão-verde do Brasil a dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário proporcionou absorção de nitrogênio em quantidade suficiente para promover seu crescimento e desenvolvimento. Pode-se afirmar que isso é devido ao fato de que todos os parâmetros de crescimento (mostrados no primeiro capítulo) e os parâmetros fisiológicos (mostrados abaixo) apresentaram melhores resultados nas mudas com concentração de nitrogênio de 27,9 g kg⁻¹, concentração esta encontrada na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário.

Além disso, esse resultado encontrado para a concentração de nitrogênio no tecido foliar das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil, assim como o que vem sendo observado para a maioria dos nutrientes analisados, permite inferir que, a calagem desempenha papel importante no balanço nutricional dessa cultura, evitando que ocorra o excesso de um elemento em detrimento da deficiência de outro.

A aplicação de calcário aumentou o teor de fósforo na folha, com melhor ajuste para o modelo quadrático (figura 3D). A maior concentração de fósforo foi alcançada na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, que alcançou valor de 1,24 g kg⁻¹, com máxima eficiência técnica na dosagem de 1,41 t ha⁻¹ de calcário. Embora a maior concentração de P encontrada esteja abaixo do nível crítico recomendado pela Embrapa para mudas de coqueiro anão-verde (1,5 g kg⁻¹), a calagem possibilitou incremento de 24% em comparação com o tratamento controle. O aumento na absorção de fósforo em função da calagem tem sido demonstrado em diversos estudos (SILVA et al., 2011; MACEDO; TEIXEIRA, 2012; VIÉGAS et al., 2017), e muitos deles atribuem tal fato ao aumento da disponibilidade de P devido à neutralização do alumínio e também ao aumento do pH do solo, o que foi verificado neste estudo.

O valor de pH do solo, como um fator isolado, é o que mais afeta a disponibilidade do fósforo, sendo que em solos com pH acima de 5,5 ocorre maior disponibilidade de fósforo na solução do solo e, conseqüentemente, maior absorção pela planta (PRADO, 2008). Além disso, o aumento de outros íons na solução, como o magnésio, pode ter contribuído para maior absorção de fósforo nas mudas cultivadas na dose de 1,58t ha⁻¹ de calcário, pois o magnésio apresenta efeito sinérgico na absorção de fósforo, tendo em vista que o magnésio funciona como

um carregador de fósforo, explicado pela ativação da ATPase nas membranas contribuindo com a absorção e também pela geração de ATP na fotossíntese e respiração (PRADO, 2008).

Outro fator importante a ser considerado quando se trata de calagem e sua influência na absorção de fósforo é a questão do benefício que esta prática traz para o sistema radicular das plantas (como verificado no capítulo anterior). Mudas cultivadas em solos com aplicação de calcário apresentam maior superfície radicular, possuem também maior capacidade para absorção do nutriente no solo, especialmente o fósforo, uma vez que o movimento deste elemento no solo é governado pelo processo de difusão, e como este processo é caracterizado por percorrer pequena distância, o contato íon-raiz fica comprometido caso as plantas não apresentem sistema radicular bem desenvolvido (FERNANDES, 2006).

A concentração de alumínio na folha diminuiu com a calagem, o modelo que mais se adequou na análise de regressão foi o modelo quadrático (Figura 3F). O teor de alumínio presente nas mudas cultivadas com aplicação de 1,58 t ha⁻¹ de calcário apresentou redução acima de 100% em relação as mudas cultivadas sem adição de calcário. Essa diminuição na concentração de alumínio no tecido foliar das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil é possivelmente atribuída a menor absorção do alumínio devido sua neutralização pelo calcário e também ao aumento da absorção de cálcio e magnésio que tem efeito inibidor tanto para a absorção como para a translocação do alumínio para a parte aérea (FERNANDES, 2006).

Além disso, observa-se que a concentração de alumínio na raiz foi bem maior que no tecido foliar, esse resultado mostra que o alumínio é um elemento pouco translocado para a parte aérea havendo acúmulo deste elemento no sistema radicular desta cultura (FERNANDES, 2006). A tolerância ao alumínio tem sido associada com mudanças no pH na região da raiz, capacidade de troca de cátion radicular, eficiência na absorção e metabolismo do P, Ca, Mg, e Fe, atividade da fosfatase e concentração de ácidos orgânicos (BASSO, 2000). O alumínio quando presente nas plantas provoca restrição para o seu crescimento e desenvolvimento, o que resulta em reduções na produtividade da cultura (FERNANDES, 2006).

Concentração de micronutrientes na folha

A influência da aplicação de calcário nas variações da concentração de micronutrientes foi significativa para boro, cobre, ferro e manganês e não significativa para zinco e cloro no tecido foliar de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico (Figura 4).

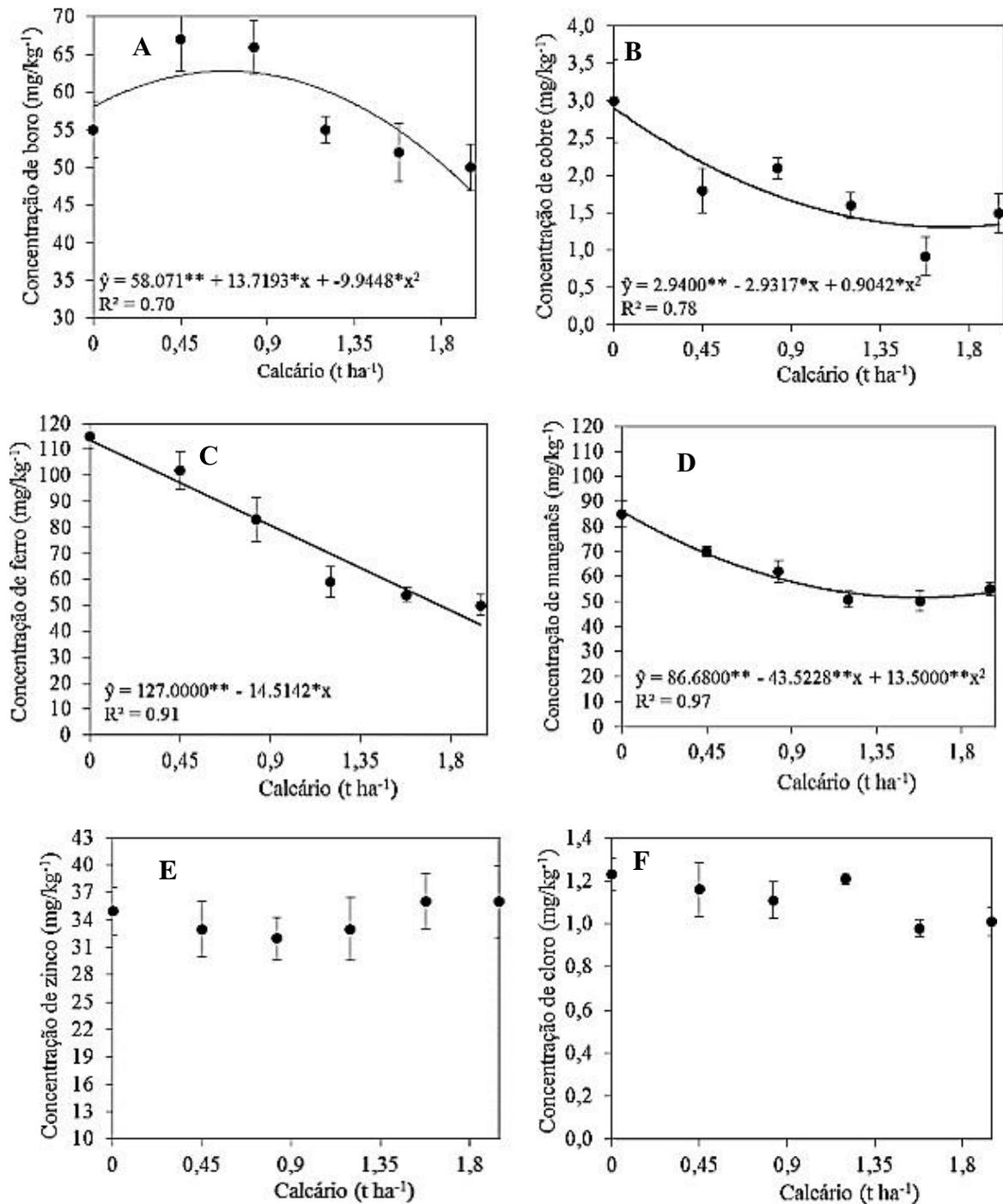


Figura 4: Influência da calagem na concentração de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e cloro nas folhas de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. Barras verticais indicam erro padrão da média. *significativo a 5%, **significativo a 1%.

As plantas cultivadas em solos com adição de calcário apresentaram aumento na concentração de boro no tecido foliar com as dosagens 0,45 e 0,83 t ha⁻¹ e diminuição com as dosagens 1,20; 1,58 e 1,95 t ha⁻¹, sendo o modelo quadrático o que melhor se ajustou à distribuição dos dados e a dose de máxima eficiência técnica ficou em torno de 0,70 t ha⁻¹ de calcário (Figura 4A). Esse comportamento pode ser justificado devido a influência do pH na disponibilidade de boro, já que, geralmente, este micronutriente sofre diminuição da solubilização e da absorção com o aumento do pH da solução do solo (DECHERN; NACHTIGALL, 2006). No entanto, observa-se que, mesmo com a diminuição da concentração do boro no tecido foliar nas mudas estudadas, os valores encontrados foram bem acima do valor crítico recomendado para a cultura do coqueiro, valor este de 17 mg kg⁻¹ (Embrapa, 2016). Os teores encontrados nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil variaram entre 50 e 67 mg kg⁻¹, e a menor concentração foi encontrada nas mudas cultivadas com a maior dose de calcário (1,95 t ha⁻¹).

O boro é um dos micronutrientes que mais limita a produção das culturas no Brasil (Fernandes, 2006). Sua deficiência provoca inicialmente alterações metabólicas relativamente rápidas nas plantas, reduzindo e alterando a sínteses de proteínas, podendo afetar também a absorção e translocação de cálcio e potássio (NOVAIS, 2007). No entanto, é importante ressaltar que o limite entre a dose adequada e a tóxica é pequeno, o risco de toxicidade é aumentado no campo, especialmente em solos arenosos (PRADO, 2008). A toxidez de boro pode induzir deficiência de zinco. Os sintomas de toxidez de boro caracterizam-se como clorose malhada e, depois, manchas necróticas em razão da maior taxa de transpiração nesses locais (PAPADAKIS, 2004), embora as concentrações deste elemento estejam acima do valor crítico recomendado não foi observado sintomas de toxidez nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

Houve também diminuição da concentração de cobre no tecido foliar com o aumento da quantidade de calcário, e o melhor modelo que se ajustou aos dados foi o quadrático (Figura 4B). O teor de cobre encontrado no tecido foliar das plantas de todos os tratamentos está abaixo do nível crítico recomendado pela Embrapa (2016), que é de 5,0 mg kg⁻¹. O maior valor encontrado foi de 2,6 mg kg⁻¹ nas plantas cultivadas sem calagem e o menor foi 1,0 mg kg⁻¹ nas plantas que receberam 1,58 t ha⁻¹ de calcário. Observa-se que na maior dosagem de calcário (1,95 t ha⁻¹ de calcário) a concentração de cobre foi de 1,9 mg kg⁻¹, valor maior que na dosagem

1,58 t ha⁻¹ de calcário. Isto permite inferir que a redução que ocorreu na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário não foi devido ao aumento do pH, mas devido uma possível inibição competitiva com outros nutrientes. Segundo Malavolta (2006) o cobre pode sofrer inibição competitiva com zinco, potássio e cálcio. Observa-se que na mesma dose de calcário que apresentou a menor concentração de cobre apresentou também maior concentração de cálcio (Figura 3A).

A deficiência de cobre pode aumentar a incidência de doenças em plantas, esse micronutriente tem papel fungistático importante, em razão de diversos fatores, entre eles o aumento da lignificação (barreira física) e também em situação de deficiência de cobre a planta contém menos O₂ ativo prejudicial ao patógeno, menos proteínas de parede, menor indução de alexinas, desorganização da parede celular e das membranas causando oxidação dos lipídeos pelos radicais livres não dissipados (MALAVOLTA, 2006). Dessa forma, embora a calagem seja uma prática necessária, como mostram os dados, tem que ser feita com critérios, pois a mesma pode provocar limitações de nutrientes, principalmente micronutrientes, e quando se trata de cobre a deficiência pode ser agravada ainda mais devido o material de origem do solo ser pobre deste elemento (NOVAIS, 2007).

A concentração de ferro no tecido foliar também apresentou diminuição nas plantas cultivadas com calagem, no entanto, o melhor ajuste se deu para o modelo linear decrescente (figura 4C). As plantas cultivadas com adição da maior dose de calcário apresentaram redução na concentração de ferro equivalente a 56% em relação as plantas que não foram submetidas a calagem, saindo de 115 para 50 mg kg⁻¹. Esta redução ocasionada pela calagem é benéfica para as mudas de coqueiro anão-verde do Brasil, pois a calagem foi capaz de reduzir o excesso de ferro para um valor mais adequado, uma vez que, o nível crítico estipulado pela Embrapa (2016) para plantas jovens de coqueiro anão-verde é de 35 mg kg⁻¹. Dessa forma, verifica-se que a calagem é capaz de interferir na absorção excessiva de ferro (PEGORARO, 2006), evitando uma possível toxidez deste micronutriente. Segundo Prado (2008) um dos problemas causados pela toxidez de ferro é a inibição na absorção de outros micronutrientes entre eles o manganês.

A concentração de manganês no tecido foliar foi menor nas plantas que receberam calagem, o modelo de regressão que melhor se ajustou foi o quadrático (figura 4D). Para o manganês a dosagem de calcário que se mostrou melhor em termo de adequação da concentração desse micronutriente no tecido foliar das mudas foi a dose 0,83 t ha⁻¹ de calcário,

que apresentou concentração de 62 mg kg^{-1} , valor próximo do nível crítico estabelecido pela Embrapa (2016) que é de 60 mg kg^{-1} . O valor de manganês encontrado no tecido foliar das plantas cultivadas sem calagem foi de 85 mg kg^{-1} , 41% acima do nível crítico recomendado para o coqueiro anão-verde.

Observa-se que os resultados encontrados para o tecido foliar foram praticamente o inverso do ocorrido nas raízes, onde as maiores concentrações de manganês na raiz se deram nas mudas com calagem e as menores concentrações nas mudas sem calagem (Figura 2D), já no tecido foliar, as mudas sem calagem apresentaram valores acima dos valores encontrados nas mudas com calagem (Figura 3D). Dessa forma, pode-se afirmar que embora os valores encontrados na raiz das mudas cultivadas sem calagem tenham sido menores, isso não significa que as mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em solos ácidos tenham a absorção desse micronutriente comprometido, ao contrário, isso mostra que, em situação de acidez do solo, essa espécie tanto absorve como transloca manganês para a parte aérea.

Geralmente, solos ácidos apresentam altas concentrações de manganês (ABREU et al., 2007). Altas concentrações de manganês podem induzir a planta a deficiência de outros nutrientes como ferro, cálcio e magnésio, além disso, manganês em excesso pode causar distribuição irregular de clorofila e indução à deficiência de auxina, hormônio que regula o crescimento das plantas (PRADO, 2008).

As menores concentrações de manganês nas folhas das mudas que receberam maiores doses de calcário podem ter ocorrido devido ao manganês ter propriedades químicas semelhantes (raio iônico) às do cálcio e principalmente magnésio (PRADO, 2008), dessa forma, a presença de maiores concentrações desses nutrientes disponibilizados pelo calcário pode ter inibido o transporte do manganês da raiz para a parte aérea nas plantas que receberam as maiores dosagens. Assim, pode-se afirmar que a calagem realizada de forma e na quantidade adequada é eficiente na manutenção de concentrações apropriadas de manganês na planta.

Trocas gasosas

Houve efeito significativo da calagem para fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO_2 (C_i), eficiência de uso

instantânea da água (EisUA) e eficiência de uso intrínseco da água (EicUA) de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico (Figura 5).

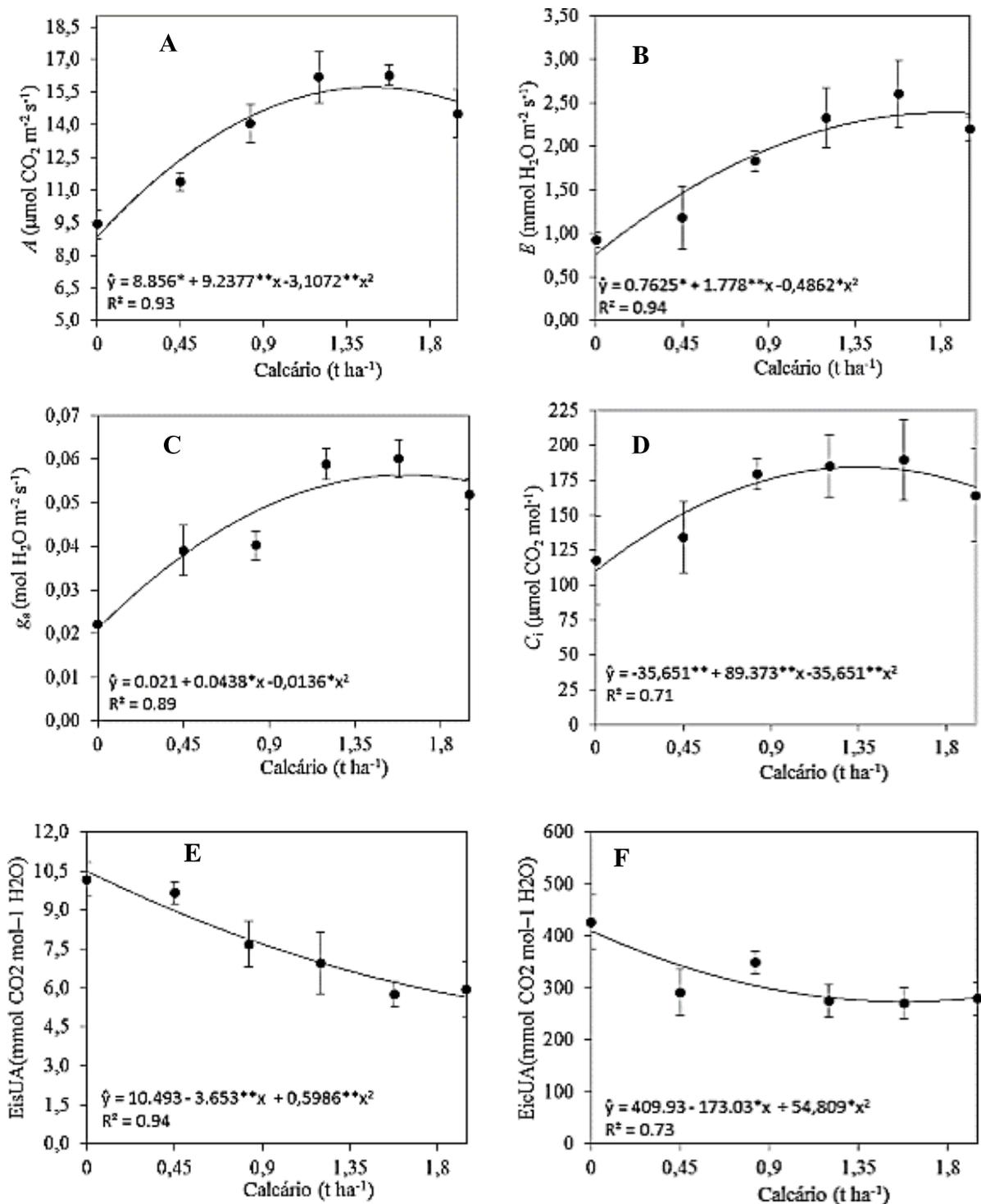


Figura 5: Influência da calagem na A (A), E (B), g_s (C), C_i (D), EisUA (E) e EicUA (F) nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico. Barras verticais indicam erro padrão da média *significativo a 5%, **significativo a 1%.

No presente estudo é relatado pela primeira vez o aumento de desempenho fotossintético, através dos parâmetros de trocas gasosas, de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil submetidas a calagem.

Para a fotossíntese (*A*), os resultados mostraram aumento de 77% ao comparar as mudas do tratamento controle e as mudas submetidas a calagem com dose de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, passando de 9,3 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ para 16,5 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹. O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou à distribuição dos dados, e a máxima eficiência técnica foi alcançada com a dose 1,49 t ha⁻¹ de calcário (Figura 5A). A melhor taxa fotossintética foi encontrada nas plantas que apresentaram maior área foliar (Figura 3C primeiro capítulo) e maiores concentrações de Mg e P no tecido foliar (Figuras 3B e 3C, respectivamente) proporcionado pela calagem, o que provavelmente justifica a maior taxa fotossintética.

Segundo Matos et al. (2015), o aumento da taxa fotossintética está diretamente relacionado com o aumento da área foliar, pois a planta depende das folhas como órgãos fotossintetizantes e a fotossíntese é realizada por unidade de área foliar. O aumento da atividade fotossintética pode ser explicado pelos papéis do Mg e P no metabolismo das plantas. Aquele é importante constituinte da clorofila, o aumento da concentração de Mg aumenta a síntese de clorofila e conseqüentemente, a taxa fotossintética, além disso, atua como ativador enzimático da ribulose difosfato que é o principal receptor de CO₂ (Prado, 2008); este, ajuda na taxa fotossintética por ser componente de adenosina trifosfato (ATP), que é a principal forma de energia química utilizada pelas plantas nos seus principais processos vitais, então plantas bem supridas de fósforo têm reflexo positivo na fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al., (2006) que verificaram que espécies arbóreas da Amazônia central apresentaram altos valores na taxa fotossintética após receberem calagem e adubação fosfatada, fato justificado pelos autores com o aumento do pH, decréscimo de H⁺ no solo, aumento da disponibilidade de P, e aumento da concentração de Ca e Mg na planta.

Para a transpiração (*E*), a calagem promoveu aumento acima de 100%, com melhor ajuste dos dados para o modelo quadrático (Figura 4B). Assim como na *A*, a *E* também apresentou melhor resposta na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, passando de 0,9 mmol H₂O

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para $2,6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo $1,83 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário a dose de máxima eficiência técnica. O aumento da concentração de Ca nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil pode ter influenciado o aumento das taxas transpiratórias. Segundo Atkinson (2014), o fluxo de Ca no xilema tem sido apontado como um regulador da transpiração (ATKINSON, 2014). Segundo Peçanha (2007) a transpiração é proporcional aos valores de condutância estomática e esta, por sua vez, é diretamente influenciada pela concentração de Ca no tecido foliar (ATKINSON, 2014).

Em trabalho realizado por Araújo (2003) que comparou trocas gasosas em diferentes variedades de coqueiro, constatou que em coqueiro anão jovem a transpiração média das plantas foi de $0,95 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com valor mínimo de $0,09 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e máximo de $1,52 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valores abaixo dos valores encontrados neste estudo. Plantas perenes cultivadas sob condições ambientais favoráveis, sem restrição hídrica e com suprimento adequado de nutrientes tem sua taxa transpiratória favorecida (ARAÚJO, 2003), isto pode justificar as taxas transpiratórias encontradas nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

A condutância estomática (gs) também aumentou com a calagem, aumento bem expressivo, acima de 100% assim como *E*. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o quadrático e a dose de máxima eficiência técnica foi de $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (Figura 5C). O grau de abertura estomática determina preponderantemente a taxa de trocas gasosas através da epiderme (TAIZ et al., 2017). O papel do Ca na abertura estomática é bem conhecido (ATKINSON, 2014). O fechamento e abertura dos estômatos depende das concentrações de cálcio na epiderme das folhas devido seu papel como mensageiro secundário na condução de sinais (PRADO, 2008).

A concentração intercelular de gás carbônico (*C_i*) aumentou nas plantas cultivadas com calagem. A maior *C_i* ($190 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) foi observada nas plantas cultivadas com a dose de $1,58 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, com melhor ajuste dos dados para o modelo quadrático e a dose de máxima eficiência técnica foi $1,25 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (Figura 5D). Nascimento (2009), explica que, comumente, o incremento nos valores de *C_i* é acompanhado de acréscimos na gs; deste modo, o aumento da abertura estomática seria o fator principal do aumento de desempenho fotossintético uma vez que, quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO_2 para a câmara subestomática.

Quanto à eficiência instantânea no uso da água (EiUA) e a eficiência intrínseca no uso da água (EicUA) observou-se que houve decréscimo dessas variáveis nas plantas que receberam calagem, com melhor ajuste para o modelo quadrático (Figura 5E e 5F, respectivamente). Este resultado pode ser justificado pelo aumento da *E* e *gs* nas plantas que receberam calagem e também devido ao fornecimento de água em quantidades adequadas, uma vez que ao longo de todo o período experimental (80% da capacidade de campo), possibilitando que as mudas de coqueiro anão-verde do Brasil mantivessem elevadas o grau de abertura estomática e a taxa de transpiração. Segundo Peçanha (2007), devido ao coqueiro anão apresentar alta taxa de transpiração, ele consome mais água que outras variedades.

3.4 CONCLUSÃO

Mudas de coqueiro anão-verde do Brasil respondem positivamente a calagem.

A calagem promoveu maiores concentrações de nutrientes na raiz com a dosagem de 1,95 t ha⁻¹ de calcário, com exceção do nitrogênio e do alumínio que apresentaram menores concentrações nessa dosagem.

No tecido foliar a calagem promoveu maiores concentrações de cálcio, magnésio e fósforo na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário e promoveu redução do nitrogênio, boro, cobre, manganês, ferro e alumínio.

Os parâmetros de trocas gasosas também apresentaram melhores resultados na dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário, com exceção da eficiência do uso intrínseco e instantâneo da água que apresentaram redução nessa dosagem.

Referências

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, pg. 775-783, 2004.
- ATKINSON, C. J. Is xylem sap calcium responsible for reducing stomatal conductance after soil liming? **Plant Soil**, v.38, p.349–356, 2014.
- ARAÚJO, R. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Application of lime with different reaction degrees: Chemical changes in soil under corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 33, p. 1755-1776, 2009.
- BASSO, L. H. M. Efeito do alumínio na fisiologia e bioquímica de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. 67 p. 2000.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRAGA NETO, A. M. Calagem na cultura da *Fisalis*. Dissertação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2017.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira vermelha. **Scientia Agraria**, V. 12, n. 9, p. 27-33, 2008.
- DECHEIN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Nutrição mineral de plantas: micronutrientes. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006. 432p.
- EPSTEIN, E.; BLOMM, A. J. Mineral nutrition of plantas: Principles and perspectives. 2. ed. Massachusetts, Sinauer Associates, 400p. 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 3º ed. Rio de Janeiro, 2013.
- FERNANDES, M. S. Nutrição Mineral de Plantas – Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 432p. 2006.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras-MG**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERNANDES, A. R.; BRAZ, A. M. S.; MAIA, P. R.; VIÉGAS, I. J. M. Phosphorus fertilization and base saturation in the formation of *Swietenia macrophylla* seedlings. **Revista Ciências Agrárias**. v. 56, p.261-267, 2013.
- FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistemas de Produção, 01). Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>.

LINS, P. M. P. & VIÉGAS, I. J. M. **Adubação do coqueiro no Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 28p., 2008.

GOMES DO Ó, L. M. Fisiologia e produção de plantas de coqueiro anão sob diferentes níveis de irrigação. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; LIMA, S. C.; SANTOS, C. S.; NETO, J. D. Características foliares e índice de colheita do rabanete irrigado com água residuária em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, p. 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MACEDO, S. T.; TEIXEIRA, P. C. Lime and phosphorus for araza seedling formation. **Acta Amazônica**. v.42, p.405-412, 2012.

MELO, É. E. C.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, A. C. Q.; SILVA, A. S. Disponibilidade e fracionamento de Cd, Pb, Cu e Zn em função do pH e tempo de incubação com o solo. **Ciência e agrotecnologia**. v. 32, p. 776-784, 2008 .

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NATALE, W.; PRADO, R. M, ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SILVA NETO, S. P. Physical and chemical attributes of soil in ecosiste of Mombaça grass in the eastern Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 55, p. 75-84, 2012.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.205-274, 2007.

PAPADAKIS, I, E. Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of “Navelina” orange plants grafted on two rootstocks. *Environmental and*

PRADO, R.M.; MOURA, J.Z.; BENVINDO, R.N.; ALENCAR, L.C. Applying boron to coconut palm plants: effects on the soil, on the plant nutritional status and on productivity boron to coconut palm trees. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, p.79-85, 2013.

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

PRADO, R. M. & NATALE, W. A CALAGEM NA NUTRIÇÃO E NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICAL DA CARAMBOLEIRA. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.3, n.1, p.3-8, 2004.

- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. S.; FABRÍCIO DE OLIVEIRA GEBRIM, F. O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.221-228, 2006.
- RODRIGUES, M.; SILVEIRA, C. A. P.; VAHL, L. C.; SALÉ, M. M.; Produção de massa seca e absorção de micronutrientes catiônicos pelo milho em função da calagem do solo. XI reunião brasileira de ciência do solo, Frederico Westphalen, RS.2016.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista de Ciências Agrárias e Ambiental**, v. 9, p. 27-32, 2011.
- SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.946–952, 2015.
- SILVA, E. M.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, R. R.; RIBEIRO, G. O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. **Acta amazônica**, v.36, p. 503-512, 2006.
- SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.551-559, 2008.
- SILVA, T. A. F.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; BATISTA, I. M. P.; MIRANDA, J. F.; SOUZA, M. M. Liming and fertilization phosphated for the production of *Swietenia macrophylla* seedlings. **Floresta**, v.41, p.459-470, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- VIEGAS, I. J. M.; SILVA, G. R.; SILVA JUNIOR, M. L.; GAMA, M. A. P. OKUMURA, R. S.; FRAZÃO, D. A. C.; MATOS, G. S. B.; DOUZA JUNIOR, J. C. LIMA, E. V.; GALVÃO, J. R. Growth and mineral nutrition of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings subjected to lime in Yellow Alic Latosol. **Australian journal of crop Science**, v. 11, p. 1297-1303, 2017.

ANEXO

VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO CALCÁRIO

Em função dos resultados obtidos com este estudo foi possível concluir que dentre as doses utilizadas (0,45; 0,83; 1,20; 1,58 e 1,95 t ha⁻¹), a dose de 1,58 t ha⁻¹ de calcário apresentou melhores resultados na maioria dos parâmetros analisados, sendo considerada então a dose mais eficiente para proporcionar maior crescimento e desenvolvimento das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas em Neossolo quartzarênico de textura arenosa em condições de casa de vegetação.

A partir do preço da tonelada do calcário entregue na fazenda (R\$ 58,00/t + frete R\$ 125,00/t), foi calculado o preço da muda com adição de calcário, obtendo-se uma muda com custo adicional de R\$ 0,025 (dois e meio centavos de real) em comparação com a muda produzida sem adição de calcário (Anexo 1).

Anexo 1: Custo da muda* sem calagem e com adição de 1,58 t ha⁻¹ de calcário

Dose recomendada	Custo do calcário com frete	Custo da muda sem calagem**	Custa da muda com calagem
1,58 t ha ⁻¹	183,00	7,51	7,53

* Número de mudas por hectare = 11.500 **Custo da muda pronta pela empresa Sococo/LTDA

Os anexos abaixo mostram que com apenas R\$ 0,025/muda foi possível alcançar uma série de benefícios tanto para a fertilidade do solo como para as plantas.

Anexo 2: Efeito da aplicação de calcário na dosagem 1,58 t ha⁻¹ de calcário na melhoria das propriedades químicas do solo após 60 dias de incubação do calcário.

Parâmetro analisado	Fertilidade do solo			
	Valor encontrado sem calagem	Valor encontrado com calagem	Resultado da Calagem com a dose 1,58 t ha ⁻¹ de calcário	Valor adequado (Malavolta, 2001)
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,6	1,6	Aumento de 183%	1,5 - 2,0
Mg (cmol _c dm ³)	0,4	0,9	Aumento de 125%	0,6 - 1,0
P (mg dm ⁻³)	1,0	2,6	Aumento de 160%	20 - 30
K (cmol _c dm ⁻³)	0,07	0,05	Redução de 28%	0,20 - 0,30
CTC efetiva	1,97	2,66	Aumento de 31,5%	-----
V%	15,8	39,46	Aumento de 149%	50 - 60
pH	4,28	5,54	Aumento de 29%	5,0 - 5,5
[H ⁺]	0,0000524	0,0000028	Redução de 94%	-----
H+Al	5,7	3,9	Redução de 31,5%	-----
Al ³⁺ (cmol _c dm ³)	0,9	0,1	Redução de 89%	0,2 - 0,5
m%	42,98	3,35	Redução de 92%	10 - 15

Anexo 3: Comparação da concentração de macronutrientes no tecido foliar nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas sem calagem e com calagem (dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário)

Macronutrientes na planta				
Parâmetro analisado	Valor encontrado sem calagem	Valor encontrado com calagem	Resultado da calagem com a dose 1,58 t ha ⁻¹ de calcário	Nível Crítico (Embrapa,2016)
Ca (g kg ⁻¹)	1,60	2,44	Aumento de 53%	3,0
Mg (g kg ⁻¹)	2,87	3,74	Aumento de 30,3%	3,0
P (g kg ⁻¹)	1,00	1,24	Aumento de 24%	1,5
N (g kg ⁻¹)	32,8	27,9	Redução de 3,64%	21
K (g kg ⁻¹)	22,5	19,5	Redução de 13%	16
S (g kg ⁻¹)	2,70	2,93	Aumento de 7,53%	1,3
Cl (g kg ⁻¹)	12,0	10,0	Redução de 16,6%	8,0

Anexo 4: Comparação da concentração de micronutrientes no tecido foliar nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas sem calagem e com calagem (dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário)

Micronutrientes na planta				
Parâmetro analisado	Valor encontrado sem calagem	Valor encontrado com calagem	Resultado da Calagem na dose 1,58 t ha ⁻¹ de calcário	Nível Crítico (Embrapa, 2016)
B (mg kg ⁻¹)	55	52	Redução de 5,4%	17
Cu (mg kg ⁻¹)	2,6	1,0	Redução de 23%	5,0
Fe (mg kg ⁻¹)	115	54	Redução de 53%	35
Mn (mg kg ⁻¹)	85	50	Redução de 41%	60
Zn (mg kg ⁻¹)	35	36	Aumento de 2,85%	14

Anexo 5: Comparação dos resultados encontrados nas variáveis de crescimento das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas sem calagem e com calagem (dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário)

Variáveis de crescimento			
Parâmetro analisado	Valor encontrado sem calagem	Valor encontrado com calagem	Resultado da Calagem na dose 1,58 t ha ⁻¹ de calcário
H (m planta ⁻¹)	1,52	1,74	Aumento de 14%
NF (unidade)	11	12	Aumento de 9%
AF (m ² planta ⁻¹)	13,6	15,5	Aumento de 13%
MSR (g planta ⁻¹)	50	95	Aumento de 90%
MSPA (g planta ⁻¹)	340	420	Aumento 23,5%
MST (g planta ⁻¹)	390	515	Aumento de 32%

Anexo 6: Comparação dos resultados encontrados nos parâmetros de trocas gasosas das mudas de coqueiro anão-verde do Brasil cultivadas sem calagem e com calagem (dosagem de 1,58 t ha⁻¹ de calcário).

Trocas gasosas			
Parâmetro analisado	Valor encontrado sem calagem	Valor encontrado com calagem	Resultado da calagem na dose 1,58 t ha ⁻¹ de calcário
Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	9,4	16,3	Aumento de 73%
Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,93	2,60	Aumento de 179%
Condutância ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,02	0,06	Aumento de 200%
Carbono intracelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	118	190	Aumento de 61%
EisUA ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$)	10,2	5,8	Redução de 43%
EicUA ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$)	427	271	Redução de 36%

Partindo do pressuposto que os incrementos alcançados, principalmente os relacionados ao crescimento e desenvolvimento das mudas, como área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, fotossíntese, transpiração e condutância estomática, irão consequentemente resultar em plantas mais vigorosas em campo e possivelmente em plantas mais produtivas, é possível afirmar que o custo decorrente da aplicação de calcário é relativamente pequeno em relação aos ganhos alcançados nas mudas de coqueiro anão-verde do Brasil.

Dessa forma, levando em consideração os resultados obtidos neste estudo, a calagem é uma prática que deve ser considerada em fazer parte dos tratamentos culturais de mudas de coqueiro anão-verde do Brasil. No entanto, recomenda-se que esses resultados sejam validados com experimentação em campo, e sugere-se também que, a calagem seja realizada desde a sementeira, pois acredita-se que os resultados não foram mais satisfatórios devido a permanência das mudas durante 4 meses em substrato com elevada acidez.