Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Mudas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum): adubação fosfatada, calagem e deficiência nutricional

Márcio Rezende Ribeiro Soares

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

Márcio Rezende Ribeiro Soares
Engenheiro Agrônomo

Mudas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum): adubação fosfatada, calagem e deficiência nutricional

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profª. Drª. **SIMONE RODRIGUES DA SILVA**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Soares, Márcio Rezende Ribeiro

Mudas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum): adubação fosfatada, calagem e deficiência nutricional / Márcio Rezende Ribeiro Soares. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

84 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Correção do solo 2. Adubação fosfatada 3. Deficiência nutricional 4. Cambucizeiro 5. Sistema hidropônico I. Título

AGRADECIMENTOS

À Deus, que em sua infinita perfeição me conduz por Seus planos de amor ao longo da vida e por ter me presenteado com Nossa Senhora como mãe.

Aos meus pais, Márcio (in memorian) e Jussânia, e que me ensinaram de balbuciar a viver o verbo amar.

Aos meus avós, Maria Noemia e José Rezende, Ilza e Januário que me mostraram o amor de Deus e já tendo finalizado a caminhada nesta vida, intecedem por nós nos Céus.

Às minhas irmãs, Sarah e Bruna por sempre serem a minha inspiração desde criança e aos meus sobrinhos e afilhados Guilherme, Manuela e Luísa que trazem tantas alegrias para a nossa família.

À minha esposa, Isabel, por ser a maior manifestação do amor de Deus na minha vida, além de ser o nosso amado Santuário da Vida trazendo no seu ventre nosso primeiro filho João Paulo.

Aos meus sogros, João Benedito e Maria Gorete que, além de me acolherem como um novo filho, auxiliaram muito na realização deste trabalho.

Ao Ministério Universidades Renovadas – MUR, que foi a minha maior surpresa na ESALQ, por me apresentar o que até então eu achava improvável: o amor de Deus sendo transbordado dentro da Universidade.

Ao Grupo de Oração Universitário "Água Viva", por não desistirem de mim no início da caminhada e por insistirem que largasse a vida de militância para abraçar o caminho de Deus, e pelo Grupo de Partilha e Perseverança "Mãe Rainha" por me ajudarem a amadurecer a fé.

À perseverança e doação de todos os "luquinhas dinos" e de todos os "luquinhas novos" levando a missão de propagar o amor de Deus.

À Renovação Carismática Católica – RCC – da diocese de Piracicaba, pelo acolhimento de amor de mãe e por me ensinar a viver a fé.

À República Sagrada Família, onde na convivência do dia a dia me mostrarem como colocar na prática a nossa fé: Mateus, Gabriel Fernando e Gabriel Pipokô.

À Comunidade Católica Kénosis, por me ensinar a cada dia o caminho certo de santidade.

À minha orientadora Professora Doutora Simone Rodrigues da Silva por toda a orientação, dedicação e atenção, sendo mais que uma simples orientadora, uma mãe que Deus me deu em Piracicaba.

À turma do “Bonde do abacate” que, sob a orientação da professora Simone, foram sempre grandes companheiros de pós-graduação: Marcelo, Guilherme, Mariane, Lígia, Bruna, Tatiana e Mariana.

Aos professores doutores de fruticultura, Ângelo Jacomino, Marcel Sposito e Francisco Mourão por sempre darem todo apoio necessário à realização deste trabalho.

Ao Departamento de Produção Vegetal, em especial ao Éder, Carlão, Horst, Carlinhos e Thiago por toda ajuda concedida a realização deste trabalho.

Ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CENA, ao Professor Doutor José Lavres Júnior por apoiar e dar condições a execução deste trabalho e à Cleusa Cabral e Everaldo por toda a disponibilidade e dedicação em ajudar.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, à ESALQ e à USP, por todos os conhecimentos, experiências e oportunidades.

SUMÁRIO

RESUMO 6
ABSTRACT 7
1. INTRODUÇÃO GERAL 9
Referências 15
2. DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAMBUCIZEIRO EM FUNÇÃO DA CORREÇÃO E DE TEORES DE FÓSFORO NO SOLO 19
Resumo 19
Abstract 19
2.1 Introdução 20
2.2 Materiais e Métodos 21
2.3 Resultados 24
2.4 Discussão 38
2.5 Conclusões 42
Referências 42
Anexos 45
3. DIAGNOSE VISUAL DE SINTOMAS DE DEFICIÊNICAS NUTRICIONAIS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAMBUCIZEIRO (*Campomanesia phaea* O. BERG LANDRUM) 51
Resumo 51
Abstract 51
3.1 Introdução 52
3.2 Material E Métodos 53
3.3 Resultados 58
3.4 Discussões 71
3.5 Conclusão 81
Referências 81

RESUMO

Mudas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum): adubação fosfatada, calagem e deficiência nutricional

A falta de conhecimento sobre os aspectos produtivos do cambucizeiro, principalmente quanto ao manejo nutricional das plantas e da fertilidade do solo, é um fator que dificulta sua expansão além da região de origem. Buscando contribuir para melhor entendimento sobre o manejo nutricional dessa espécie, foi conduzido o presente estudo, que objetivou num primeiro experimento verificar o desenvolvimento inicial de mudas de cambucizeiro em função da correção e de teores de fósforo (P) no solo e num segundo experimento caracterizar deficiências nutricionais no desenvolvimento de mudas de cambucizeiro. No primeiro experimento, em mudas conduzidas em vasos em casa de vegetação, utilizou-se solos com e sem correção e quatro teores de fósforo, no esquema fatorial 2x4, dispostas em DBC, com 6 blocos. Foram avaliadas variáveis de crescimento e alterações fisiológicas das mudas. Verificou-se que a correção do solo contribuiu para a redução da acidez e aumento da concentração de Ca e Mg, mas não afetou o desenvolvimento das mudas, demonstrando que é dispensável, devido à adaptação da cultura aos solos de origem. Teores superiores de P no solo contribuíram para o desenvolvimento inicial de mudas de cambucizeiro, evidenciado por variáveis biométricas e teor de clorofila. No segundo experimento, em mudas de cambucizeiro conduzidas em sistema hidropônico “floating” com aeração constante, foram caracterizados os efeitos da deficiência nutricional de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e de ferro. O delineamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com oito tratamentos e quatro repetições por parcela experimental. As variáveis analisadas neste estudo foram: altura de plantas, diâmetro do caule, teor de clorofila, coloração das folhas, área foliar, massa seca da parte aérea, comprimento, diâmetro médio, área superficial, volume e massa seca do sistema radicular e análise nutricional das folhas. Também foram caracterizados os sintomas visuais de deficiência dos nutrientes. Verificou-se que as plantas de cambucizeiro quando submetidas à omissão individual dos macronutrientes e ferro apresentam perdas significativas nas variáveis analisadas.

Palavras-chave: Correção do solo, Adubação fosfatada, Deficiência nutricional, Cambucizeiro, Sistema hidropônico

ABSTRACT

Cambucizeiro seedlings (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum): phosphate fertilization, liming and nutritional deficiency

The lack of knowledge about productive aspects of the specie, especially regarding the nutritional management and soil fertility, makes it difficult to expand the cambuci tree production beyond its region of origin. Aiming to contribute for a better understanding about the nutritional management of this specie this research was conducted in order to verify in a first study the initial development of cambuci tree seedlings as a function of the use of lime to correct soil acidity and different levels of phosphorus fertilization. A second study was conducted in order to characterize nutritional deficiencies in the development of cambuci seedlings. In the first study, the Cambuci trees seedlings were grown in pots placed in a greenhouse with and without lime to correct soil acidity and four levels of phosphorus fertilization were applied in a factorial scheme 2x4, arranged in Generalized randomized block design (GRBD) with 6 blocks. Growth variables and physiological changes of the seedlings were evaluated. It was observed that the use of lime contributed to reduce soil acidity and increased the soil content of Ca and Mg but did not affected the initial development of cambuci seedlings demonstrating the liming can be dispensable in the propagation of cambuci trees due to its adaptability to acidic soils, as this is the condition found at the specie region of origin. Higher doses of this phosphate contributed in the initial development of plants, as evidenced by biometric variables and chlorophyll content. In the second study cambuci seedlings were grown in a hydroponic floating raft system with constant aeration and the effects of the induction of nutritional deficiencies of macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sulfur) and iron were characterized. The experimental design adopted was the CRD (Completely Randomized Design) with eight treatments and four replications.The seedlings were evaluated regarding the plants height, stem diameter, chlorophyll content, leaves color, leaf area, nutrient content in leaves, dry mass of the aerial parts and the also regarding length, diameter, superficial area, volume, and dry mass of the radicular system. The visual symptoms of the nutritional deficiencies were also evaluated. Cambuci tree seedlings showed significant reduction in the analyzed variables when submitted to nutrient deficiency.

Keywords: Soil correction, Nutritional management, Cambuci, Hydroponic system

1. INTRODUÇÃO GERAL

Entre os biomas brasileiros, a Mata Atlântica se destaca pela rica biodiversidade e também por ser um dos mais ameaçados do planeta. Este bioma já ocupou cerca de 15% do território brasileiro, mas hoje estima-se que exista 12,5% da floresta original (IBF, 2021). Segundo Souza (2009), um dos maiores problemas em relação a preservação das florestas tropicais é a falta de conhecimento sobre as espécies existentes.

Mesmo nessas condições, a Mata Atlântica possui um banco genético de espécies vegetais que garante a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais (ALMEIDA, 2016), em especial da família Myrtaceae, que possui nesse bioma, 689 espécies (sendo que 532 são endêmicas) distribuídas em 20 gêneros (onde três são endêmicos) (SOBRAL et al. 2012), sendo as lenhosas de maior importância (LEÃO, 2012).

Dentre os representantes exóticos desta família, destaca-se o gênero *Eucalyptus*, com espécies produtoras de madeira e óleos essenciais; *Mellaleuca* e *Callistemon*, que possuem espécies para uso ornamental e *Syzygium* e *Pimenta*, com espécies utilizadas na culinária. A família também engloba diversas espécies frutíferas que são nativas da Mata Atlântica como a pitangueira, a uvaieira, a cerejeira-do-rio-grande e a grumixameira que pertencem ao gênero *Eugenia*, a goiabeira e o araçazeiro pertencentes ao gênero *Psidium*, a jabuticabeira do gênero *Plinia* e o cambucizeiro do gênero *Campomanesia* (LORENZI, 1992; ROMAGNOLO, 2009). Poucas são as informações sobre o potencial econômico dessas frutíferas (GRESSLER et al., 2006), havendo necessidade de pesquisas e incentivos para sua popularização e cultivo, pois muitas são plantadas apenas em pomares domésticos no Brasil (RODRIGUES et al., 2018).

Embora algumas dessas espécies sejam conhecidas nacionalmente e internacionalmente, como a goiabeira e a jabuticabeira, grande parte delas são difundidas apenas na região de origem, como é o caso do cambucizeiro [*Campomanesia phaea* (O. Berg. Landrum)] (LEÃO, 2012), encontrado em fragmentos de Mata Atlântica nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (RODRIGUES et al., 2018).

A árvore do cambucizeiro é considerada de porte médio, apresenta de três a cinco metros, podendo chegar até dezesseis metros em seu habitat natural. O seu tronco é típico de espécies arbóreas da família Myrtaceae (com aparência de escamas), com vinte a trinta centímetros de diâmetro (LORENZI et al., 1992). O cambucizeiro pode ser usado na indústria madeireira, no paisagismo, no reflorestamento de áreas degradadas e de preservação permanente (LORENZI et al., 1992) e, sobretudo, para o fornecimento de frutos (RODRIGUES et al., 2018).

A floração se dá nos meses de outubro a janeiro, sendo mais intenso nos meses de novembro e dezembro, embora possam ocorrer florescimentos esporádicos ao longo do ano (LORENZI, 1992). O cambucizeiro é uma planta alógama, necessitando de polinização cruzada para que haja fecundação (LEÃO, 2012; CORDEIRO, 2015) sendo que os agentes polinizadores mais eficientes são as abelhas dos gêneros *Meliponini*, *Bombini* e *Apis* (LEÃO, 2012; CORDEIRO, 2015), havendo também outras espécies de insetos menos eficientes (CORDEIRO, 2015).

O período de frutificação ocorre de fevereiro a junho, sendo mais intenso no mês de março (LORENZI, 1992). O período de floração estendido resulta frutos em diversos estágios de formação e maturação, o que requer colheitas diárias (CORDEIRO, 2015). Os frutos são de coloração verde-amarelada e casca fina, medindo de cinco a seis centímetros de diâmetro, por três a quatro centímetros de espessura, são suculentos e carnosos, dispondo de uma polpa de doce aroma, com baixo pH (forte acidez) e forte adstringência, o que limita seu consumo *in natura*. Em cada fruto há de 9 a 13 sementes que possuem um baixo índice de fertilidade, de 30% (DONADIO et al., 2002).

O cambuci também é rico em sais minerais, vitamina C, além de ser fonte de compostos fenólicos (TOKAIRIN, 2017) como os flavonoides (ADATI, 2001). Os frutos são utilizados preferencialmente na forma processada para a produção de sucos, sorvetes, cachaças, licores e doces (MARTINS et al., 2002). O seu consumo por diversas aves e mamíferos, permite a disseminação da espécie em condições naturais (VALLILO, 2005).

A falta de conhecimento sobre os aspectos produtivos do cambucizeiro, principalmente o manejo nutricional e a fertilidade do solo, que não são realizados pela maioria dos produtores pode limitar a sua produção (TOKAIRIN, 2017), dificultando ainda mais a expansão dos cultivos para além da região de origem.

Nesse contexto, a correção do solo e a adubação são fatores determinantes para o aumento de produtividade dessa cultura, considerando que a maior parte dos solos brasileiros são ácidos e possuem naturalmente, baixa fertilidade. A calagem promove a neutralização do alumínio, o aumento do pH, o fornecimento de cálcio e magnésio, além de aumentar a disponibilidade de outros elementos, favorecendo a formação de raízes e bons resultados no desenvolvimento e produção das plantas (NATALE et al., 2012).

Apesar de não existirem pesquisas sobre calagem e adubação de cambucizeiro, vários trabalhos sobre esses temas foram realizados para outras espécies frutíferas da mesma família, especialmente para a goiabeira, por ser a mais cultivada comercialmente no Brasil (PRADO et

al., 2005; NATALE, 2005; NATALE et al., 2007; NATALE et al., 2000; CORRÊA et al., 2003).

Prado et al. (2005) avaliaram os efeitos de doses crescentes de calcário no solo, aplicadas antes da instalação de um lote de goiabeiras, (doses 0; 1,85; 3,79; 5,56 e 7,41 $t.ha^{-1}$ representando, respectivamente, a V% natural do solo; metade da dose necessária para aumentar o V = 70%; dose necessária para aumentar o V = 70%; 1,5 vezes a dose necessária para aumentar o V = 70%; e duas vezes a dose necessária para aumentar o V = 70%;) sobre a qualidade dos frutos em seu primeiro ano de produção (goiabeiras de 2 anos), através do monitoramento das alterações físico-químicas na pós-colheita dos mesmos. Os autores observaram que a aplicação de calcário não afetou as características físicas do fruto, porém, incrementou os teores de cálcio nos mesmos, reduzindo a perda de matéria fresca e proporcionando maior firmeza, com benefícios para a pós-colheita, como o maior período de armazenamento. Natale et al. (2005) também verificaram que a aplicação de calcário em plantas de goiabeira aumentou a qualidade dos frutos, o que não foi observado para as plantas que não receberam aplicação de calcário.

Natale et al. (2007) também estudaram os efeitos da calagem na fertilidade do solo, nutrição e produtividade da goiabeira, em um solo com uma baixa saturação por base (V = 26%) em que foram aplicadas, antes do plantio, as mesmas doses de calcário para atingir os mesmos valores de V% utilizados no trabalho de Prado et al. (2005). Os autores observaram que a maior dose de calagem resultou em aumento do pH, cálcio, magnésio e saturação por bases, reduzindo H + Al até 60 cm de profundidade, com as melhores produções obtidas quando o valor de V% na linha e entrelinha das plantas, foi de 50% e 65%, respectivamente.

Também são relatadas interferências da correção do solo nas variáveis biométricas das plantas. Souza et al. (2009) observaram que a aplicação de doses de calcário dolomítico, quatro meses antes da implantação de um pomar de goiabeiras, cultivar Paluma, resultaram em plantas com maior diâmetro do caule, maior altura e volume de copa. Os mesmos autores afirmaram que essa aplicação possibilitou o aumento de magnésio no solo, que resultou em melhor desenvolvimento das plantas, pois este nutriente participa de uma série de processos metabólicos que fornecem energia como a fotossíntese, a respiração, a absorção iônica e a síntese de carboidratos, lipídios e proteínas. Para Malavolta et al. (1997) o magnésio está especialmente presente na clorofila, ocupando o centro da estrutura, e o cálcio também atua na fotossíntese, reação de Hill ou fotólise da água, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Em contrapartida, foi realizado um experimento com a gabirobeira (*Campomanesia xanthocarpa*), frutífera nativa do cerrado e pertencente ao mesmo gênero do cambucizeiro, em que se avaliou a aplicação de três níveis de calagem (sem calagem, calagem para atingir V = 40% e calagem para atingir V = 70%), quatro níveis de adubação potássica (0, 60, 120 e 180 kg de $K_2O.ha^{-1}$) e quatro níveis de adubação fosfatada (0, 80, 160 e 240 kg de $P_2O_5.ha^{-1}$). Foi observado que as maiores doses de fósforo e de potássio resultaram em maior crescimento vegetativo, o que não foi observado para o maior nível de calagem, evidenciando que a gabirobeira se desenvolve melhor em solos com pH baixo (COSTA et al., 2013).

Além da calagem, a adubação também apresenta efeitos relevantes sobre a produção. O fósforo é um dos elementos essenciais ao desenvolvimento da planta, em particular para o crescimento das raízes, sendo suas principais funções ligadas a estrutura e processos de armazenamento de energia, na fotossíntese, multiplicação e divisão celular (NATALE, 1999; MARSCHNER, 1995). No início do processo da fotossíntese, os primeiros açúcares produzidos são, principalmente, compostos por fósforo, que também possui um importante papel dentro do cloroplasto (BLEVINS, 1999).

Normalmente, os solos tropicais possuem baixa disponibilidade de fósforo e alta adsorção e fixação deste nutriente (NOVAIS; SMYTH, 1999), sendo sua maior necessidade requerida na fase de desenvolvimento inicial das plantas (NATALE et al., 2000; CORRÊA et al., 2003). Corrêa et al. (2003) avaliando doses de 70, 140 e 280 mg de $P.dm^{-3}$ de solo, distribuídos no volume total do solo do vaso ou de forma localizada em mudas de goiabeira, obtiveram que a dose de 140 mg de $P.dm^{-3}$ distribuída em todo o solo resultou no melhor desenvolvimento das plantas.

Natale et al. (2000) avaliando a aplicação de doses crescentes de calcário e fósforo no desenvolvimento inicial de mudas de goiabeira observaram que a dose de 1,2 $g.dm^{-3}$ de calcário e 200 $mg.dm^{-3}$ de adubo fosfatado aumentaram os valores de V%, pH, soma de bases, Ca e Mg no solo, resultando em maiores valores de matéria seca das plantas.

Carnevali (2013) estudou o efeito da adubação nitrogenada e fosfatada em guavira (*Campomanesia adamantium*), frutífera nativa do Cerrado, pertencente ao mesmo gênero do cambucizeiro. Seus resultados evidenciaram que 100 dias após o transplantio das mudas para os vasos, o nitrogênio e o fósforo incrementaram valores de altura, diâmetro do caule, número de folhas e matéria seca, porém, após 200 dias não foi constatada influência do fósforo no desenvolvimento da muda, mostrando que a planta é bem adaptada as condições do solo do Cerrado, que dispõe de uma baixa disponibilidade de fósforo.

Para que as espécies vegetais se desenvolvam e completem seu ciclo, é fundamental que ocorra o fornecimento dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl), exigidos em maior e menor quantidade, respectivamente (ARNON; STOUT, 1939). Raij (1991) ressalta a importância de haver um balanço da oferta desses nutrientes para que eles não influenciem a absorção uns dos outros de modo a alterar a composição mineral das folhas e o desenvolvimento da planta.

As alterações metabólicas causadas pelas deficiências nutricionais de cada elemento levam à manifestação de anormalidades visíveis em função de sua mobilidade no floema (redistribuição) e função desempenhada na planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; PRADO 2008). Os sintomas de deficiência dos elementos móveis pelo floema (nitrogênio, potássio, magnésio, fósforo, cloro, zinco e molibdênio) iniciam-se em tecidos mais velhos das plantas e da mesma forma, a deficiência dos elementos imóveis (cálcio, enxofre, ferro, boro e cobre) resulta sintomas nos tecidos mais jovens (TAIZ; ZEIGER, 2013). Como não há trabalhos sobre esse tema para cambucizeiros, reitera-se a importância da função de cada nutriente, bem como da caracterização dos sintomas no caso de suprimento insuficiente.

Segundo Epstein e Bloom (2006), o nitrogênio (N) é um elemento integral de compostos carbônicos, sendo constituinte de todos os aminoácidos, proteínas, nucleotídeos e outras funções metabólicas. Desse modo, sua deficiência inibe o crescimento vegetal, causando clorose homogênea em folhas maduras (MALAVOLTA, 1980). Quando a deficiência se processa lentamente, pode ocorrer o estiolamento de brotações, que possuirão caules pronunciadamente delgados (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O enxofre (S), assim como o nitrogênio, é um elemento integral de compostos carbônicos, sendo constituinte da cisteína, metionina, coenzima A e outras funções bioquímicas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Sua deficiência se manifesta de modo semelhante à do nitrogênio, porém em folhas mais jovens, em virtude da limitação de translocação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O fósforo (P) é um elemento fundamental nos processos de aquisição, estocagem e utilização de energia por ser componente de açúcares fosfatados e adenosinas fosfatadas e também estar presente em nucleotídeos e ácidos nucleicos (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os sintomas da deficiência de fósforo são redução no crescimento e coloração amarelada ou verde-azulada sem brilho, inicialmente em folhas mais velhas (FAQUIN, 2005).

Já o potássio (K) atua na ativação e controle de enzimas e também na regulação osmótica de células. Os sintomas da escassez de potássio se dá a princípio em folhas velhas

tornando-as verde-escuras ou azul-esverdeadas, além do surgimento de manchas necróticas nas margens das mesmas, que sob condições severas pode resultar na morte de gemas laterais e terminais (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O cálcio (Ca) integra-se à lamela média da parede celular e também é requerido na divisão e elongação celular. Sua deficiência se manifesta nos pontos de crescimento da parte aérea causando deformação, clorose ou queimadura nas margens das folhas (FAQUIN, 2005). O suprimento insuficiente de cálcio também afeta severamente o crescimento das raízes (MALAVOLTA, 1980).

O magnésio (Mg) é um importante ativador enzimático e constituinte da clorofila. Sua carência nas plantas é observada como clorose internerval em folhas mais velhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Epstein e Bloom (2006) apontaram a dificuldade de uma descrição generalizada dos sintomas de deficiência de magnésio, devido à variedade de sintomas observada em diferentes espécies.

O ferro compõe enzimas envolvidas na transferência de elétrons, sendo necessário para a síntese de complexos constituídos por clorofila e proteína nos cloroplastos (SALISBURY; ROSS, 2013). Na ocorrência de deficiência desse elemento, ocorre primeiramente o amarelecimento em folhas mais novas, destacando-se como um reticulado fino que evolui para o branqueamento da folha (FAQUIN, 2005).

A partir do entendimento das diferentes funções de cada nutriente, fica evidente que a nutrição mineral adequada permite o funcionamento metabólico normal das plantas, influenciando positivamente seu desenvolvimento, produção e resistência à pragas e doenças (NATALE, 2009).

Embora seja evidente a importância da fertilidade do solo sobre o desenvolvimento vegetal, as plantas diferem quanto às exigências do mesmo em relação a textura, disponibilidade de nutrientes, acidez e teor de matéria orgânica. Para culturas de importância agrícola, muitos são os conhecimentos obtidos sobre manejo nutricional, enquanto que para o cambucizeiro, que em ambiente natural de ocorrência se encontra sob solo ácido, com baixa saturação de bases e baixo teor de fósforo disponível (TOKAIRIN, 2017), há poucas informações disponíveis sobre o tema e as características ideais de solo.

Leão (2012) realizando análises de solo em dois pomares comerciais de cambucizeiros nas microrregiões de Paraibuna e Limeira, SP, verificou que a área amostrada em Limeira apresentou solo com características químicas mais adequadas ao cultivo agroflorestal, evidenciadas pelo maior rendimento do óleo essencial extraído a partir das folhas, que foi significativamente superior à área de Paraibuna. Embora as duas áreas de estudo estejam

inseridas no bioma Mata Atlântica, somente a região de Paraibuna se enquadra dentro do território compreendido como local de ocorrência natural do cambucizeiro pelo Centro Nacional de Conservação da Flora (2012), o qual apresentou características químicas semelhantes às descritas por Tokairin (2017) que amostrou solo da mesma região, o que ressalta a importância da adoção da nutrição mineral.

Informações relatadas pelo produtor Hélvio Luiz Bisognini na obra "Cambuci - o fruto, o bairro, a rota: história, cultura, sustentabilidade e gastronomia" (ANDRADE et al., 2011) corrobora com a adoção do manejo nutricional, por descrever a obtenção de melhor floração e consequentemente frutificação, mediante a adubação e introdução de matéria orgânica em seu cultivo.

Visando potencializar a produção para promover o aproveitamento e a valorização dessa espécie nativa, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho fisiológico e horticultural de mudas de cambucizeiro em função da correção e de teores de fósforo no solo, além de caracterizar os efeitos da deficiência nutricional de macronutrientes e de ferro.

Referências

ADATI, R. T. **Estudos biofarmagnóstuco de Campomanesia phaea (O. Berg.) Landrum. Myrtaceae.** 2001. 128 p. Dissertação (Mestrado em Farmacognosia) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ALMEIDA, D. S**. Recuperação Ambiental da Mata Atlântica.** 3. ed. Ilhéus - Bahia: Editus - Uesc, 2016. 198 p. Disponível em: <http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2016/recuperacao_ambiental_da_mata_atlantica_nova.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

ANDRADE, B. A. G.; FONSECA, P. Y. G. LEMOS, F**. Cambuci – o fruto, a rota, cultura, sustentabilidade e gastronomia.** São Paulo: Ourivesaria da Palavra. 2011. 159 p.

ARNON, D. I., STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant physiol**, Washington, 14, p.371, 1939.

BLEVINS, D. G. **Por que as plantas precisam de fósforo?**. Informações Agronômicas: Fósforo. n.87, p. 04-05, set. 1999.

CARNEVALI, T. O. **Desenvolvimento inicial e eficiência nutricional de *Campomanesia adamantium* no uso de nitrogênio e fósforo.** 2013. 42 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

CNCFLORA. Centro Nacional de Conservação da Flora. ***Campomanesia phaea* (O Berg). Landrum**, 2012. Versão 2. Disponível em <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Campomanesia phaea>. Acesso em: 14 maio 2020.

CORDEIRO, G. D**. Fenologia reprodutiva, polinização e voláteis florais do Cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg) Landrum 1984 – Myrtaceae)**. 2015. 89 f. Tese (Doutor em ciências), Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2015.

CORRÊA, M. C. M.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; PEREIRA, L.; BARBOSA, J. C. Resposta de mudas de goiabeira a doses e modos de aplicação de fertilizante fosfatado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 1, p. 164-169, 2003.

COSTA, M. F.; REIS, E. F.; PINTO, J. F. N. **Efeito da calagem e adubação potássica e fosfatada em Campomanesia spp (Myrtaceae)**. Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí. Jataí – GO, 2013.

DONADIO, L. C.; MÔRO, F.V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas Brasileiras**. Jaboticabal: Novos talentos, 288p., 2002.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina. Editora planta, 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras, UFLA/FAEPE, 2005. 186p.

GRESSLER, E.; PIZO, M. A.; MORELLATO, P. C. M. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.4, p.509-530, out.-dez. 2006.

IBF - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Bioma Mata Atlântica**. Curitiba, PR, 2021. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica>. Acesso em: 14 abr. 2021.

LEÃO, M. M. **Características do óleo essencial extraído das folhas de Campomanesia phaea (O. Berg.) Landrum (cambuci) obtido em duas microrregiões da Mata Atlântica**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. 255 p.

MALAVOLTA, E. 1980. **Elementos de nutrição mineral das plantas.** Ceres, São Paulo, Brasil. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A**. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **London: Academic Press**, 1995. 674p.

MARTINS, L. **Fruteiras Nativas do Brasil e Exóticas.** Campinas, CATI, 2002, 112 p.

NATALE, W. **Adubação, Nutrição e Calagem na Goiabeira.** In: Natale, W.; Rozane, D.E.; Souza, H.A.; Amorim, D.A. (Org.). Cultura da Goiaba: do Plantio à Comercialização. 1ed. Jaboticabal-SP: Unesp/CAPES/CNPq/FAPESP/Fundunesp/SBF, v. 1, p. 257-279, 2009.

NATALE, W. **Resposta da goiabeira à adubação fosfatada.** 1999. 132 p. Tese de Livre-Docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 1999.

NATALE, W.; CENTURION, J.F.; KANEGAE, F.P.; CONSOLINI, F.; ANDRIOLI, I. Efeitos da calagem e da adubação fosfatada na produção de mudas de goiabeira. **Revista de Agricultura, Piracicaba**, v.75, n.2, p. 247-261, 2000.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; MÔRO, F. V. Alterações anatômicas da parede celular de frutos de goiabeira induzidas pelo cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1239-1242, 2005.

NATALE, W.; PRADO R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, UFV, DPS, 1999. 399p.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. 2008. Editora Unesp, São Paulo, Brasil. 407p.

PRADO, R. M; NATALE, W.; SILVA, J. A. A. Liming and quality of guava fruit cultivated in Brasil. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 6, p. 1-102, 2005.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic Fruits Reference Guide**. Elsevier. 488 p. 2018.

ROMAGNOLO, M.B. **A família Myrtaceae na Estação Ecológica do Caiuá. Diamante do Norte**, PR: projeto de pesquisa. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Biológicas, 2009. 22p.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia de plantas**. Tradução da 4° edição norte-americana. Cengage, 2013 792 p.

SOBRAL, M.; PROENÇA, C.; SOUZA, M.; MAZINE, F.; LUCAS, E. Myrtaceae. In: Forzza, R.C. et al. **Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2012. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB010660>

SOUZA, A. **Variabilidade dos óleos voláteis de espécies de Myrtaceae nativas da Mata Atlântica.** 2009. 351 p. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MAFFEI, M. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição. Porto Alegre, Artmed, 2013. 918p.

TOKAIRIN, T. O**. Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica**. 2017. 134p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

VALLILO, M. I.; GARBELOTTI, M. L.; OLIVEIRA, E.; LAMARDO, L. C. A. Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 2, p. 241-244, 2005.

2. DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE CAMBUCIZEIRO EM FUNÇÃO DA CORREÇÃO E DE TEORES DE FÓSFORO NO SOLO

Resumo

O cambucizeiro, *Campomanesia phaea* O. Berg Landrum, é uma espécie frutífera nativa da Mata Atlântica que pode vir a se tornar uma alternativa viável para cultivos comerciais no Brasil. No entanto, pouco se sabe sobre a necessidade de correção da acidez do solo e da nutrição das plantas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da correção e de teores de fósforo no solo nos atributos químicos do solo e no desempenho inicial de mudas de cambucizeiro. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis repetições, no arranjo fatorial 2 x 4. Os tratamentos foram dois níveis de correção do solo (sem e com correção) e quatro teores de fósforo no solo (0; 9,4; 26,3 e 55,1 mg dm^{-3} de P). As mudas foram obtidas de sementes coletadas em pomares e transplantadas para vasos de oito litros contendo solo coletado em área de ocorrência natural do cambucizeiro. Para a correção do solo foram aplicados os reagentes puros carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, 84 dias antes do transplantio das mudas. Como fonte de fósforo utilizou-se o fosfato monoamônico (MAP), aplicado no solo dois dias antes do transplantio das mudas. Ao longo do período experimental avaliou-se o crescimento de plantas em altura, diâmetro de caule, número de folhas totais e número de brotações. Além disso, determinou-se o teor de clorofila e flavonoides foliares, taxa de assimilação de CO_2, transpiração, condutância estomática, concentração intercelular de CO_2, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência do uso da água. Aos 240 dias do transplantio, foi quantificado os atributos químicos do solo, a área foliar, massa seca da parte aérea e do sistema radicular e a área, comprimento total, volume e diâmetro médio do sistema radicular e da parte aérea. A correção do solo por meio da aplicação de carbonato de cálcio (CaCO3) e carbonato de magnésio (MgCO3), PRNT de 100%, para elevar a saturação de bases a 50%, não afetou o desenvolvimento inicial das plântulas de cambucizeiro. Mudas de cambucizeiros cultivadas em solos com teores de P médios (13 a 30 mg dm^{-3}) e altos (31 a 60 mg dm^{-3}) apresentaram maior desenvolvimento inicial.

Palavras-chave: *Campomanesia phaea*, Fosfatagem, Correção do solo, Myrtaceae, Crescimento de mudas.

Abstract

The cambuci tree, Campomanesia phaea O. Berg Landrum, is a fruit specie native from the Atlantic Forest that presents potential to stood out in commercial cultivation in Brazil. However, little is known about the need to correct soil acidity and plant nutrition in this specie. The objective of this study was to evaluate the effect of liming and diffetent levels of phosphorus fertilization on the chemical attributes of the soil and on the initial development of cambuci seedlings. The experimental design was in Generalized randomized block design (GRBD) with 6 blocks in a a 2x4 factorial arrangement. The treatments were two doses of lime (with and without) and four levels of phosphorus (0; 9.4; 26.3; 55.1 mg dm-3 of P). Seedlings were obtained from seeds collected in orchards and transplanted to eight liter pots containing soil collected in an area of cambuci natural occurrence. Limestone was

applied to the soil 84 days before seedling transplanting using pure reagents calcium carbonate (CaCO3) and magnesium carbonate (MgCO3), 100% PRNT. As a source of phosphorus, monoammonium phosphate (MAP) was applied to the soil two days before transplanting. During the experimental period, plant growth in height, stem diameter, number of total leaves and number of shoots was evaluated. In addition, chlorophyll and leaf flavonoid content, CO_2 assimilation rate, transpiration, stomatal conductance, intercellular CO_2 concentration, instantaneous carboxylation efficiency and water use efficiency were determined. At 240 days after transplanting, the chemical attributes of the soil, leaf area, shoot and root dry mass and area, total length, volume and mean diameter of the root system and shoot were quantified. The results show that liming thought the use of calcium carbonate (CaCO3) and magnesium carbonate (MgCO3), 100% PRNT in order to increase the base saturation of the soil to 50% did not positively affect the development of seedlings. Cambuci seedlings grown whit medium (between 13 and 30 mg $^{dm-3}$) and high (between 31 and 60 mg dm^{-3}) levels of P presented better results of initial development.

acontributed to the reduction of acidity and increased concentration of Ca and Mg, but did not positively affect the development of seedlings, demonstrating that the application of lime in cambuci seedlings can be dismissed, due to its adaptation to the original soils (naturally with lower pH. Phosphate fertilization increased the availability of P in the soil and higher doses of this element contributed to the initial development of cambuci seedlings, evidenced by biometric variables and chlorophyll content.In the first study, the Cambuci trees seedlings were grown in pots placed in a greenhouse and divided in eight treatments (two doses of lime and four levels of phosphorus) in a factorial scheme 2x4, arranged in Generalized randomized block design (GRBD) with 6 blocks.

Keywords: *Campomanesia phaea*, Phosphating, Limestone, Myrtaceae, Seedling growth.

2.1 Introdução

O cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) é uma espécie frutífera da família Myrtaceae, nativa da Mata Atlântica, originária da vertente da Serra do Mar Paulista (LORENZI, 1992). Sua exploração econômica ainda é tímida em âmbito nacional (ROMAGNOLO, 2009) quando comparada a goiabeira e a jabuticabeira, exemplos de fruteiras nativas da mesma família, que são amplamente conhecidas (RODRIGUES et al., 2018).

A planta possui porte médio, atingindo normalmente na fase adulta, a altura de três a cinco metros. A frutificação ocorre de fevereiro a junho na região de origem (LORENZI, 1992). Os frutos possuem uma fina casca e cor amarela esverdeado, sendo muito sensível a queda (ANDRADE et al., 2011; TOKAIRIN, 2017), podendo ser consumidos *in natura*, mas principalmente na forma processada, como geleias, licores e sucos, devido a sua forte acidez e adstringência, pois preserva na sua composição os teores de ácido ascórbico e sais minerais (TOKAIRIN, 2017).

No seu ambiente natural de cultivo, o cambucizeiro se encontra sob solo ácido, com baixa saturação por bases e baixo teor de fósforo disponível (LEÃO, 2012), o que implicaria

em baixo potencial de desenvolvimento e/ou crescimento das plantas (RAIJ, 2011a). Nessas condições, há produtores que relatam boa produção de frutos, mesmo sem realizar nenhum manejo nutricional das plantas.

De qualquer forma, é importante a adoção de um manejo correto da fertilidade do solo, visando favorecer o desenvolvimento das plantas em campo (RAIJ, 1991b). Segundo Raij (2011a), para que a espécie complete seu ciclo, é fundamental observar o fornecimento adequado dos nutrientes essenciais às plantas, principalmente em frutíferas, que possuem elevada exigência nutricional para o seu desenvolvimento (NATALE, 1999).

A correção do solo é um trato cultural de grande importância, pois propicia a neutralização do alumínio no solo, o aumento do pH, o fornecimento de cálcio e magnésio, além de deixar outros elementos catiônicos disponíveis para a planta, favorecendo o desenvolvimento de raízes na camada superficial e consequentemente das plantas (PREZOTTI; GAÇONI, 2013).

A adubação fosfatada também possui um importante papel, pois o fósforo é um dos elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, em particular para o crescimento das raízes, sendo suas principais funções ligadas a estruturas e processos de armazenamento de energia, na fotossíntese, na multiplicação e divisão celular (TAIZ; ZEIGER, 2009; TAIZ et al., 2017). Plantas com deficiência em P nos estádios de desenvolvimento iniciais podem apresentar restrições no crescimento vegetativo (MARENCO; LOPES, 2011).

Essas informações ressaltam a importância da realização desta pesquisa, que objetivou verificar o desempenho inicial de mudas de cambucizeiro em função da correção e de teores de fósforo no solo.

2.2 Materiais e Métodos

O projeto foi conduzido em casa de vegetação, localizada nas dependências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, em Piracicaba, SP, e avaliado nos anos de 2018 e 2019. As mudas de cambucizeiros foram obtidas de sementes, as quais foram extraídas da polpa do fruto e colocadas para germinação em bandejas de isopor preenchidas com substrato comercial a base de casca de pinus, vermiculita e carvão (Basaplant Citrus®). Após 90 dias da germinação, as mudas foram transferidas para vasos de oito litros contendo solo coletado na profundidade de 0-40cm (Tabela 1) em propriedade rural localizada em área de ocorrência natural do cambucizeiro, no município de Natividade da Serra, SP (23°3’ S e 45°27’ W e 712 m de altitude), o qual foi corrigido (Tabela 2).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 2 x 4, sendo dois níveis de correção do solo (com e sem correção) e quatro teores de fósforo (P) no solo, ambos corrigidos com base em resultados observados para a cultura da goiabeira (NATALE et al., 1996; RAIJ et al., 1997). Foi considerada para a correção dos teores de fósforo (P), 80% do valor máximo de cada teor: muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P), baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P), médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P) e alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P), resultando em oito tratamentos: T1 (sem correção e teor de P muito baixo); T2 (sem correção e teor de P baixo); T3 (sem correção e teor de P médio); T4 (sem correção e teor de P alto); T5 (com correção e teor de P muito baixo); T6 (com correção e teor de P baixo); T7 (com correção e teor de P médio) e T8 (com correção e teor de P alto) dispostos em 6 blocos de uma planta por vaso, totalizando 48 vasos em avaliação.

Com base no resultado da análise de solo (Tabela 1), procedeu-se o cálculo da necessidade de calagem para elevar a saturação de bases à 50%, utilizando-se a fórmula NC = CTC (V2 –V1) / 10 PRNT, proposta por Raij et al. (1997). Para a correção do solo foram aplicados os reagentes puros carbonato de cálcio (CaCO3) e carbonato de magnésio (MgCO3), PRNT de 100%, na proporção de calcário dolomítico, 84 dias antes do transplantio das mudas.

Tabela 1. Resultado da análise de solo coletado na profundidade de 0 a 40 cm, de uma área de cambucizeiros localizada em propriedade particular, no município de Natividade da Serra, SP. 2018.

pH	M.O	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%	Sat. Al	SO_4
$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	---------- mmolc dm^{-3} ----------							V%	m%	mg dm^{-3}
4,2	**5**	**3**	**0,5**	**3**	**2**	**31**	**4**	**5,5**	**37**	**15**	**42**	**35**

Outra análise do solo foi realizada 40 dias antes do transplantio, para verificar a reação da aplicação da correção do solo que influenciou não só na saturação por bases, mas as demais características químicas do solo (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise de solo nos vasos, 40 dias após a correção do solo em casa-de-vegetação, antes do transplantio das mudas de cambucizeiros. CENA/USP, 2018.

pH	M.O	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%	Sat. Al	SO_4
$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------	----------	----------	mmolc dm^{-3}	----------	----------	----------	V%	m%	mg dm^{-3}
5,2	**5**	**4**	**0,5**	**10**	**5**	**22**	**0**	**16**	**38**	**41**	**0**	**42**

Como fonte de fósforo utilizou-se o fosfato monoamônico (MAP), composto por 11% de N e 60% de P_2O_5. A aplicação do fertilizante em todos os tratamentos foi realizada dois dias antes do transplantio das mudas.

Para que o nitrogênio, oriundo da fonte MAP, não fosse um fator que interferisse nos resultados, foi realizada uma aplicação de nitrato de amônio (NH_4NO_3), equiparando a quantidade aplicada de nitrogênio em todos os tratamentos. O cloreto de potássio (KCl) também foi aplicado igualmente em todos os vasos, para que a falta de potássio não fosse um fator limitante.

Foi instalada a uma altura de 3 metros dentro da casa de vegetação, uma tela de 30% de sombreamento, visando diminuir a incidência solar direta sobre as mudas. Embora houvesse ventiladores e exaustores que amenizavam as altas temperaturas, a superfície de todos os vasos foi preenchida com uma camada de um centímetro de espessura de bagaço de cana-de-açúcar, para que a umidade do solo fosse mantida por mais tempo.

Após a instalação do experimento, as mudas foram avaliadas mensalmente para as seguintes variáveis: (i) altura de plantas: medido da região do colo até a inserção do último par de folhas; (ii) diâmetro do caule: medido na região do colo, utilizando um paquímetro digital (Ohaus® Explorer), com os valores expressos em milímetros; (iii) número de folhas e número de brotações; (iv) teor de clorofila foliar: avaliado com o auxílio de um clorofilômetro modelo Minolta Spad-502R no terceiro par de folhas recém maduras de cada tratamento, sendo o teor expresso em índice SPAD, segundo as indicações de Rozane et al. (2009), mensurado a partir do terceiro mês até o final do experimento; (v) teor de flavonóides: avaliado no terceiro par de folhas, utilizando o medidor Dualex, sendo o teor expresso em unidade Dualex, mensurado a partir do quinto mês até o final do experimento e (vi) medidas de trocas gasosas, realizadas em folhas maduras pertencentes ao terço médio da plântula, com um analisador de gases infravermelho modelo LI-6400XT (LI-COR IRGA, EUA), operando

em sistema aberto, mensuradas a partir do quinto mês. As variáveis avaliadas foram: taxa de assimilação de CO_2 (A, µmol m^{-2} s^{-1}); transpiração (E, mmol m^{-2} s^{-1}); condutância estomática (gs, mol m^{-2} s^{-1}); concentração intercelular de CO_2 (Ci, µmol mol^{-1}). A partir dessas variáveis, foi calculada a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci, µmol m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}) e as eficiências do uso da água: A/E (µmol mol^{-1}) e A/gs (µmol mol^{-1}) sendo essa última denominada de eficiência intrínseca do uso da água por considerar o mecanismo estomático (FLEXAS et al., 2001; MACHADO et al., 2005). As trocas gasosas foram monitoradas em uma folha por planta, e as medidas realizadas durante o período diurno entre 8 e 11 horas;

Ao final do período experimental, 240 dias (oito meses) após o transplantio, as mudas de cambucizeiro foram submetidas às seguintes avaliações destrutivas: (i) massa fresca e massa seca da parte aérea e do sistema radicular: avaliadas após o corte das plantas na região do colo, separando as partes, que foram primeiramente pesadas para obtenção da massa fresca e em seguida colocadas em estufa de circulação e renovação de ar Marconi (Modelo MA-035), a temperatura de 60ºC, por um período suficiente para que a massa das amostras fosse constante para obtenção da massa seca de cada porção, expressa em gramas por planta; (ii) área foliar, expressa em cm², obtida através de um integrador de área foliar LICOR, modelo LI-3100; (iii) área, comprimento total, volume e diâmetro médio do sistema radicular e da parte aérea, obtidos por meio de digitalização de imagem pelo scanner HP Scanjet 4c/T e o software WinRHIZO® Reg 3.8b (Regent Instruments Inc., 2013); (iv) análise dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) presentes no solo dos vasos, a fim de caracterizar o ambiente onde cada tratamento estava inserido.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias e posteriormente analisados no software SAS® (Statistical Analysis System), versão 9.3 (SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina, United States) (SAS INSTITUTE, 2020).

2.3 Resultados

Os atributos químicos do solo relacionados ao pH, SB, H+Al, matéria orgânica e níveis de macro e micronutrientes aos 240 DAT das mudas estão apresentados na tabela 3. As variáveis pH, K, Ca, Mg, H+Al e SB, apresentaram diferenças estatísticas significativas para o a correção do solo, enquanto os valores de P e CTC foram significativos apenas para os teores de P no solo. Já as variáveis pH e H+Al, apresentaram diferenças significativas para ambos os fatores e os níveis de Zn apresentaram diferenças significativas para os dois fatores e para a interação entre eles (Tabela 3 e Figura 1).

O nível de zinco do solo aumentou com os teores de P no tratamento que foi corrigido e se manteve constante no tratamento sem correção (Figura 1). No teor alto de P, o nível de zinco aumentou de 0,4 mg dm^{-3} no tratamento sem correção para 0,9 mg dm^{-3} no tratamento corrigido. Com os dados médios dos tratamentos sem e com correção, a análise de regressão indicou ausência de resposta aos teores de P para os teores de zinco em solo não corrigido e resposta quadrática (polinomial) no solo corrigido.

Tabela 3. Efeito dos teores de P no solo, na forma de fosfato monoamônico (MAP), sem e com correção do solo aos 240 dias após o transplantio das mudas de cambucizeiro, em ambiente de casa-de-vegetação. CENA/USP, 2020.

Variável	**P (mg dm^{-3})**			**M.O (g dm^{-3})**			**pH ($CaCl_2$)**			**K (mmolc dm^{-3})**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	5,0	5,5	**5,25 c**	11,5	10,5	**11,0**	3,9	4,1	**4,0 a**	2,0	2,2	**2,0**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	6,5	5,5	**6,0 b**	11,5	11,0	**11,2**	3,8	4,0	**3,9 ab**	2,0	2,1	**2,1**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	12,0	10,0	**11,0 a**	10,0	11,5	**10,8**	3,7	4,0	**3,8 bc**	2,0	2,0	**2,0**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	37,2	22,0	**29,6 a**	11,5	10,5	**11,0**	3,6	3,9	**3,7 c**	1,6	2,0	**1,8**
Média [a]	**15,2**	**10,8**	13,0	**11,1**	**10,9**	11,0	**3,8B**	**4,0A**	3,9	**1,9B**	**2,0A**	2,0

Variável	**Ca (mmolc dm^{-3})**			**Mg (mmolc dm^{-3})**			**H+Al (mmolc dm^{-3})**			**SB (mmolc dm^{-3})**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	4,2	9,8	**7,0**	2,0	4,2	**3,1**	29,8	23,0	**26,3 c**	8,2	16,2	**12,2**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	4,8	9,8	**7,2**	2,5	3,8	**3,1**	31,5	24,0	**27,8 b**	9,2	15,7	**12,8**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	4,2	9,5	**6,9**	2,0	4,0	**3,0**	34,8	25,0	**29,9 ab**	8,2	15,6	**11,9**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	5,0	9,8	**7,3**	2,5	4,0	**3,2**	39,5	27,0	**33,2 a**	9,0	15,8	**12,4**
Média	**4,6 B**	**9,7 A**	7,1	**2,2 B**	**4,0 A**	3,1	**33,9 A**	**24,8 B**	29,3	**8,7 B**	**15,8 A**	12,2

Variável	T (mmolc dm^{-3})			V (%)			B (mg dm^{-3})			Cu (mg dm^{-3})		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	38,0	39,2	**38,6 b**	21,8	41,3	**31,5**	0,2	0,2	**0,2**	0,4	0,3	**0,3**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	40,8	39,7	**40,2 ab**	22,8	39,5	**31,1**	0,2	0,1	**0,1**	0,3	0,4	**0,3**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	43,0	40,6	**41,8 a**	19,3	38,3	**28,8**	0,2	0,2	**0,1**	0,4	0,3	**0,3**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	48,6	42,8	**45,7 a**	18,3	36,8	**27,5**	0,1	0,1	**0,1**	0,5	0,4	**0,4**
Média	**42,6**	**40,5**	41,6	**20,5 B**	**38,9 A**	29,7	**0,1**	**0,1**	0,1	**0,4**	**0,3**	0,3

Variável	Fe (mg dm^{-3})			Mn (mg dm^{-3})			Zn (mg dm^{-3})		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	15,2	12,8	**14,0 b**	0,6	0,6	**0,6**	0,4 Aa	0,4 Ba	**0,4 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	17,2	14,5	**15,9 ab**	0,5	0,5	**0,5**	0,4 Aa	0,4 Aa	**0,4 ab**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	18,2	15,0	**16,6 a**	0,5	0,5	**0,5**	0,4 Aa	0,4 Aa	**0,4 a**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	25,0	17,0	**21,0 a**	0,8	0,6	**0,7**	0,4 Ba	0,9 Aa	**0,6 a**
Média	**18,9 A**	**14,8 B**	16,9	**0,6**	**0,5**	0,6	**0,4**	**0,5**	0,4

[a]Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito do fator fósforo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%).

Por outro lado, observou-se efeito isolado significativo dos teores de P no solo e da correção do solo nos níveis de P, Fe e Zn, onde o teor alto de P no solo (31 a 60 mg dm^{-3}) diferiu significativamente do muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3}), o que também foi observado para acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica potencial (T). Já o pH do solo, diminuiu com o aumento dos teores de P no solo, de 4,0 para 3,7, onde os teores médio e alto diferiram significativamente do teor muito baixo (Tabela 3).

Efeito isolado da correção do solofoi verificado sobre o pH, os níveis de K, Ca, Mg e Fe, bem como na acidez potencial, soma de bases e na percentagem de saturação por bases da CTC, o que já era esperado, uma vez que a correçãoatua fornecendo Ca^{2+} e Mg^{2+}, na elevação do pH, neutralização do Al^{3+}, aumento da CTC e V%, dentre outros.

A saturação por bases média e acidez potencial observada foi de 38,9% e 24,8 mmolc dm^{-3}, respectivamente, para os tratamentos corrigidos. Já os tratamentos não corrigidos apresentaram média de 20,5% de saturação por bases e a acidez potencial de 33,9 mmolc dm^{-3}, evidenciando a eficácia da correção na redução da acidez do solo, na melhoria da saturação por bases e nos valores da soma de bases (Tabela 3).

Os níveis médios de Ca foram 4,6 mmolc dm^{-3} e 9,7 mmolc dm^{-3} para os tratamentos não corrigidos e corrigidos, respectivamente. Para o Mg, os valores foram de 2,2 mmolc dm^{-3} sem a calagem e de 4,0 mmolc dm^{-3} com a calagem (Tabela 3).

Os níveis médios de P foram de 5,4 mg dm^{-3} e 29,6 mg dm^{-3} após correção do teor de P no solo para os teores muito baixo e alto, respectivamente. Foi possível observar ainda que não houve diferença significativa entre os teores médio e alto. Esses dados indicam que aos 240 DAT das mudas de cambucizeiros, com a aplicação dos tratamentos, os teores de P do solo passaram de muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P) para médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P), segundo valores considerados para a cultura da goiabeira (NATALE et al., 1996; RAIJ et al., 1997). Isso evidencia maior disponibilidade do elemento para a planta quando são aplicadas doses mais elevadas de P, independentemente da correção do pH do solo, pois, para as variáveis altura de plantas, diâmetro de caule e número de folhas aos 240 DAT, verificou-se que os tratamentos que apresentavam teores de P mais elevados (T4 e T8), foram os que apresentaram os maiores valores médios.

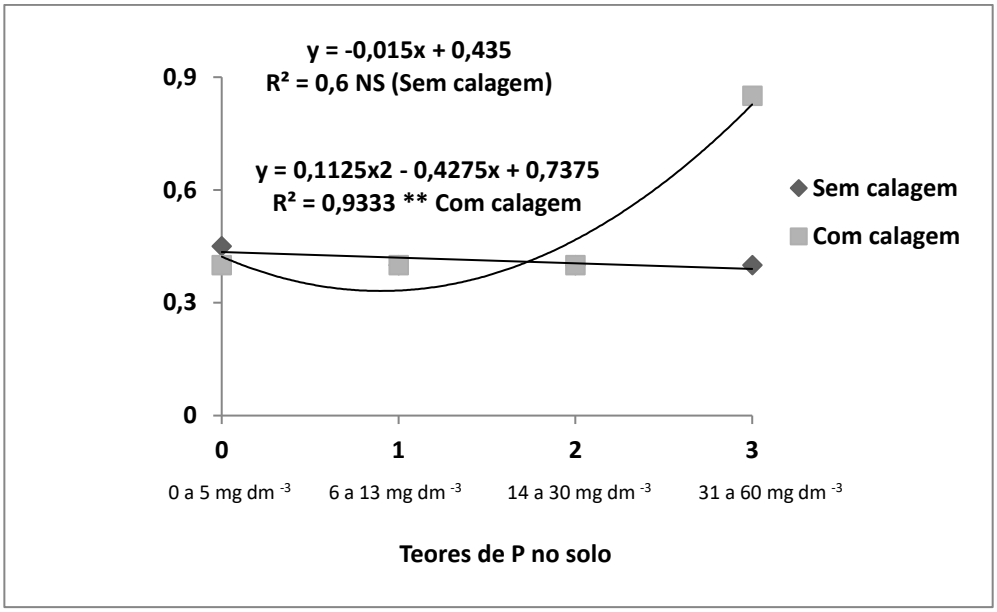

Figura 1. Efeito dos teores de P do solo, adicionados na forma de MAP, nos níveis de zinco (mg dm^{-3}) em solo sem e com correção aos 240 dias após o transplantio. Muito baixo (0-5 mg dm^{-3} de P), Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P), Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P), Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P). * = Significativo à 5%. NS = Não significativo (p>0,05).

No que diz respeito à altura de mudas de cambucizeiro, número total de folhas e teor de clorofila, não foi observado efeito significativo da interação fator correção e teor de P no solo ao longo do desenvolvimento das mudas (Tabelas 4 e 5). Também não foi observado efeito isolado do fator correção sobre essas variáveis (Tabelas 4 e 5).

O diâmetro de caule das mudas de cambucizeiro foi afetado somente pela correção do solo aos 60 e 240 DAT das mudas (Tabela 4), enquanto mudas cultivadas em solo sem correção de pH apresentaram as maiores médias de diâmetro de caule, comparadas às cultivadas em solo com pH corrigido. O diâmetro médio de caule não apresentou interação significativa entre correção e os teores de P no solo ($p < 0,05$).

Por outro lado, verificou-se efeito isolado dos teores de P no solo sobre as variáveis altura de mudas, diâmetro de caule, número de folhas e teor de clorofila (Tabelas 4 e 5). De modo geral, as diferenças começaram a aparecer entre os 90 e 120 dias após o transplantio das mudas.

A altura média final das mudas de cambucizeiro foi de 40,6 centímetros, enquanto a altura média das plantas que cresceram no maior teor de P do solo (31 a 60 mg dm^{-3} de P) foi

de 55,9 cm, um ganho de 37,7%. Esse teor de P no solo garantiu plantas com altura cerca de 20 cm maiores que nos demais (Tabela 4).

Da mesma forma, o caule das mudas foi cerca de 6,5 milímetros de diâmetro, quase 2 mm maiores do que nos demais teores de P utilizados, um aumento de quase 45,5%. Entretanto, para esse mesmo teor, a associação com a correção do solo não garantiu incrementos significativos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro de caule (mm) das mudas de cambucizeiro ao longo do período experimental. CENA/USP. 2020.

Altura de plantas (cm)												
Variável	**60 DAT***			**120 DAT**			**180 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	14,8	13,9	**14,3**	26,0	21,5	**23,8 b**	34,3	27,3	**30,8 b**	38,3	30,2	**34,2 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	16,7	14,8	**15,7**	27,1	22,7	**24,9 b**	35,6	29,3	**32,4 b**	40,6	33,8	**37,1 b**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	14,6	15,8	**15,2**	25,2	25,0	**25,1 b**	31,4	32,0	**31,7 b**	35,1	34,9	**35,0 b**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	15,9	17,0	**16,5**	30,8	33,9	**32,3 a**	44,7	49,6	**47,1 a**	53,1	58,5	**55,9 a**
Média[a]	**15,5**	**15,3**	15,4	**27,3**	**25,8**	26,6	**36,5**	**34,6**	35,6	**41,9**	**39,3**	40,6

Diâmetro de caule (mm)												
Variável	**60 DAT***			**120 DAT**			**180 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	1,9	1,7	**1,8**	3,4	3,2	**3,3**	4,2	3,6	**3,9 b**	4,9	3,8	**4,3 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	1,9	1,7	**1,8**	3,5	3,0	**3,2**	4,0	3,4	**3,7 b**	4,7	3,5	**4,1 b**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	2,0	1,8	**1,9**	3,2	3,2	**3,2**	4,0	3,9	**4,0 b**	4,6	4,3	**4,4 b**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	2,0	1,8	**1,9**	4,1	3,9	**4,0**	6,1	5,4	**5,8 a**	7,0	5,9	**6,4 a**
Média	**1,9 A**	**1,7 B**	1,8	**3,6**	**3,3**	3,4	**4,6**	**4,1**	4,3	**5,2 A**	**4,3 B**	4,8

[a]Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito do fator fósforo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. DAT = Dias após o transplantio.

*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%).

O número de folhas seguiu a mesma tendência da altura das plantas, isso porque naturalmente, plantas maiores formam mais folhas por apresentarem maior comprimento de tronco/ramo. As plantas cultivadas sob os maiores teores de P no solo apresentaram uma média de 220 e 287 folhas, sem e com correção do solo, respectivamente, um incremento aproximado de 60% em relação ao número médio de folhas observado no experimento (Tabela 5).

O índice médio de clorofila foi de 40,9. As plantas dos teores de P no solo mais elevados, sem e com correção, apresentaram índices de 49,5 e de 48,2, respectivamente, um incremento de 21% em relação ao índice médio de clorofila. No entanto, o teor de P no solo só foi significativamente distinto do teor muito baixo (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios referentes ao número total de folhas e ao teor de clorofila das folhas das mudas de cambucizeiro ao longo do período experimental. CENA/USP. 2020.

Número total de folhas												
Variável	**60 DAT**			**120 DAT**			**180 DAT**			**210 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	35,1	44,7	**39,9**	73,7	86,1	**79,9 ab**	99,0	79,5	**89,2 b**	127,0	68,7	**97,8 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	40,3	36,8	**38,6**	63,7	64,1	**63,9 b**	86,1	43,7	**64,9 b**	127,7	69,8	**98,8 b**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	43,7	46,7	**45,1**	71,7	70,5	**71,0 ab**	77,8	63,0	**70,4 b**	102,8	101,0	**101,9 b**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	48,7	43,1	**45,9**	106,7	133,1	**119,9 a**	159,0	193,3	**176,1 a**	220,5	287,3	**253,9 a**
Média	**42,0**	**42,8**	42,4	**78,9**	**88,5**	83,7	**105,5**	**94,9**	100,2	**144,5**	**131,7**	138,1

Teor de clorofila (Índice SPAD)												
Variável	**90 DAT***			**150 DAT**			**180 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	30,0	33,0	**31,5 b**	36,5	31,0	**33,8 b**	35,4	34,7	**35,0 b**	37,8	35,3	**36,6 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	29,1	31,7	**31,4 b**	35,1	36,6	**35,9 ab**	36,8	39,3	**38,0 ab**	34,1	39,8	**37,0 ab**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	34,6	37,3	**36,0 ab**	37,7	38,6	**38,1 ab**	41,1	39,9	**40,5 ab**	41,4	40,4	**41,0 ab**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	38,4	43,2	**40,9 a**	44,8	42,6	**43,7 a**	45,7	46,0	**45,8 a**	49,5	48,2	**48,9 a**
Média	**33,0 B**	**36,3 A**	34,7	**38,5**	**37,2**	37,9	**39,8**	**40,0**	39,9	**40,8**	**40,9**	40,9

[a] Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito do fator fósforo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. DAT = Dias após o transplantio.

*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%).

Com relação aos dados médios da taxa de assimilação de CO_2, transpiração, condutância estomática, eficiência instantânea de carboxilação e eficiência do uso da água, bem como teor de flavonoides nas folhas, não foram observadas diferenças estatísticas significativas para o fator correção do solo. As variáveis transpiração e condutância estomática aos 180 e 210 DAT das mudas, apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os teores médio e alto de P no solo (Tabela 6).

A taxa média de assimilação de CO_2, eficiência instantânea de carboxilação, teor de flavonoides nas folhas e eficiência do uso da água aos 240 DAT das mudas foi de 6,8 µmol m^{-2} s^{-1}; 0,01 µmol m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}; 0,7 unidade Dualex e 12,1 µmol mol^{-1}, respectivamente (Anexo 1). Os valores médios referentes à transpiração e a condutância estomática foram de 0,8 mmol m^{-2} s^{-1} e 0,02 gs, mol m^{-2} s^{-1}, respectivamente, aos 240 DAT das mudas.

Tabela 6. Valores médios referentes à transpiração e a condutância estomática das mudas de cambucizeiro ao longo do período experimental. CENA/USP. 2020.

Transpiração (mmol m^{-2} s^{-1})									
Variável	**180 DAT***			**210 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	1,8	1,5	**1,7 ab**	0,9	0,4	**0,7 ab**	0,5	1,0	**0,8**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	1,6	1,8	**1,7 ab**	0,4	0,6	**0,5 ab**	0,5	1,0	**0,7**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	1,0	1,3	**1,2 b**	0,3	0,4	**0,3 b**	0,6	0,6	**0,6**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	1,7	2,0	**1,9 a**	0,7	0,8	**0,8 a**	1,0	1,0	**1,0**
Média	**1,6**	**1,7**	1,7	**0,6**	**0,6**	0,6	**0,7**	**0,9**	0,8

Condutância estomática (gs, mol m^{-2} s^{-1})									
Variável	**180 DAT***			**210 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (05 mg dm^{-3} de P)	0,06	0,05	**0,06 ab**	0,03	0,01	**0,02 ab**	0,02	0,04	**0,03**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	0,05	0,06	**0,06 ab**	0,01	0,02	**0,01 ab**	0,02	0,03	**0,02**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	0,03	0,04	**0,03 b**	0,01	0,01	**0,01 b**	0,02	0,02	**0,02**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	0,06	0,07	**0,07 a**	0,02	0,02	**0,02 a**	0,04	0,04	**0,04**
Média	**0,05**	**0,06**	0,06	**0,02**	**0,01**	0,01	**0,02**	**0,03**	0,02

[a]Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito do fator fósforo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. DAT = Dias após o transplantio.
*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%).

Os dados relacionados à análise destrutiva - massa seca da parte aérea e raiz, área foliar, comprimento da raiz, área superficial da raiz, diâmetro médio da raiz e volume da raiz estão apresentados na tabela 7.

As médias gerais de massa seca da parte aérea e da raiz foram de 6,1 g e 2,0g, respectivamente. As mudas que cresceram sob os teores altos de P no solo apresentaram massa seca da parte aérea de 13,9 g e de massa seca da raiz de 4,0 g, um aumento de 100% em relação à média inicial observada (Tabela 7).

O comprimento médio final de raiz, bem como a área superficial, diâmetro e volume de raiz das mudas de cambucizeiro foi de 3649,7 cm, 397,1 cm^2, 0,4 mm e 3,5 cm^3, respectivamente, enquanto a média das mudas sob teores elevados de P no solo foi de 6196,6 cm (comprimento de raiz), 702,6 cm^2 (área superficial de raiz), 0,7 mm (diâmetro de raiz) e 6,4 cm^3 (volume de raiz). Teores altos de P no solo garantiram mudas com o comprimento de raiz cerca de 1,7 vezes maiores que os demais. Desempenho semelhante foi observado para as variáveis de área superficial de raiz, diâmetro de raiz e volume de raiz (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios das variáveis referentes à parte aérea e ao sistema radicular das mudas de cambucizeiro, obtidas em avaliações destrutivas das plantas, realizadas aos 240 dias após o transplantio. CENA/USP, 2020.

Variável	**Massa seca da parte aérea (g)**			**Massa seca da raiz (g)**			**Área foliar (cm^2)**			**Comprimento raiz (cm)**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	5,0	2,1	**3,6 b**	1,9	0,9	**1,3 b**	593,1	256,3	**424,7 b**	3921,8	1924,2	**2923,0 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	5,6	2,2	**4,0 b**	2,1	0,7	**1,4 b**	773,0	357,1	**565,1 b**	3867,6	1724,5	**2796,0 b**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	3,1	3,0	**3,1 b**	1,1	1,1	**1,1 b**	480,1	407,3	**443,7 b**	2361,2	3005,0	**2683,1 b**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	15,6	12,2	**13,9 a**	4,2	3,8	**4,0 a**	1893,4	1426,0	**1659,7 a**	6583,2	5809,9	**6196,6 a**
Média	**7,3**	**4,9**	6,1	**2,3**	**1,6**	2,0	**935,0**	**611,7**	773,3	**4183,4**	**3115,9**	3649,7

Variável	**Área superficial da raiz (cm^2)**			**Diâmetro médio da raiz (mm)**			**Volume da raiz (cm^3)**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem calagem**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	413,3	191,6	**302,4 b**	0,3	0,3	**0,3 b**	3,4	1,5	**2,5 b**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	455,6	167,9	**311,7 b**	0,4	0,3	**0,3 b**	4,3	1,3	**2,8 b**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	249,0	294,7	**271,8 b**	0,3	0,3	**0,3 b**	2,1	2,3	**2,2 b**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	755,4	649,8	**702,6 a**	0,9	0,6	**0,7 a**	7,0	6,0	**6,4 a**
Média	**468,3**	**326,0**	397,1	**0,5**	**0,4**	0,4	**4,2**	**2,8**	3,5

[a]Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito dos teores de P no solo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%).

2.4 Discussão

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento das plantas. De modo geral, está associada à presença de Al e Mn em concentrações tóxicas e de baixos teores de cátions de caráter básico como Ca e Mg (SOUSA et al., 2007). A correção do solo é importante porque minimiza os efeitos causados pela acidez, sendo valiosa na fase inicial de crescimento das plantas, pois nesta fase o efeito da toxidez do Al é mais pronunciado (FAGERIA, 2000).

Qualquer que seja a justificativa para a realização da correção do solo, fornecimento de cálcio ou magnésio ou a simples correção do pH, a sua importância é indiscutível. No entanto, as pesquisas muitas vezes trazem enfoque sobre os aspectos de baixa fertilidade dos solos ácidos como justificativa para adoção da prática de correção do mesmo, sem a devida atenção a adaptações de algumas espécies de plantas a essas condições.

Neste estudo, embora o solo apresentasse elevada acidez (pH, 4,2; Al trocável, 4,0 mmolc dm^{-3}; saturação por Al, 42 %; baixo teor de Ca e Mg, 3,0 e 2,0 mmolc dm^{-3}, respectivamente; Tabela 1), e a adoção da correção do solo (calculada para elevar a saturação de bases à 50%) tenha contribuído para a elevação do pH e aumento dos níveis de Ca e Mg no solo, não foram observadas melhorias no desenvolvimento inicial das mudas de cambucizeiro ao se adotar essa prática de manejo. O crescimento das plantas que estiveram em solos corrigidos e com aplicação de fósforo não se distinguiu das que receberam apenas fósforo para a maior parte das variáveis analisadas, exceto para o índice SPAD e diâmetro de caule aos 90 dias após o transplantio (Tabelas 5 e 4, respectivamente) e para o resultado de análise química do solo (Tabela 3).

Os teores de Ca e Mg, verificados no solo de origem deste estudo, de acordo com os teores propostos por Raij (1991), são considerados muito baixos, o que indica que plantas de cambucizeiro na fase de mudas apresentam grande adaptabilidade aos teores de Ca e Mg presentes no solo de origem e tolerância ao Al (Saturação de Alumínio = 42%; Tabela 1). De acordo com Olmos e Camargo (1976), o limite crítico de saturação das cargas efetivas do solo por Al trocável não prejudicial para o crescimento da maioria das plantas é de 15%. Porém, a tolerância das plantas a presença do Al trocável no solo é variável, pois é controlada por fatores fisiológicos e genéticos, o que envolve mecanismos de redução da toxidez do elemento (MIGUEL et al., 2010). Esses mecanismos de detoxificação podem ser internos ou externos e evitam a absorção deste cátion, comumente observado em plantas adaptadas a solos ácidos (HARTWIG et al. 2007).

De acordo com Raij (1991), as necessidades de cálcio para a maioria das culturas não são elevadas e os teores existentes no solo em geral seriam suficientes. O mesmo autor considera que mesmo em solos com teores de Ca bem abaixo de 10 mmolc dm^{-3} de solo, as deficiências ocasionadas por esse elemento são raríssimas. Já para o Mg, é possível que teores de 4 mmolc dm^{-3} sejam suficientes para a maioria das culturas (RAIJ, 1991).

Resultado semelhante ao observado neste estudo, também foi verificado por Favaretto et al. (2013), que avaliando a resposta de mudas de espécies nativas das mirtáceas pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), uvaieira *(Eugenia pyriformis* Cambess), cerejeira *(Eugenia involucrata* DC.), guabijuzeiro *(Myrcianthes pungens* O.Berg), guabirobeira *(Campomanesia xanthocarpa* O.Berg) e sete-capotes (*Campomanesia guazumifolia* Cambess), não verificaram a influência da calagem no crescimento das mesmas, embora a correção do solo tenha elevado o valor de pH de 4,7 para 5,9. Desempenho semelhante foi observado para mudas de mogno africano *(Khaya ivorensis*), onde a calagem em solo, calculada pelo método da saturação por bases para elevar a saturação à 65%, não favoreceu o crescimento inicial das plantas em relação aos tratamentos sem calagem (ROS et al. 2019).

No que diz respeito à adubação fosfatada realizada neste estudo, foi observado um aumento dos teores de P no solo após sua realização (Tabela 3). O fertilizante utilizado foi o fosfato monoamônico-MAP ($NH_4H_2PO_4$). Como se trata de um adubo nitrogenado que contém amônia em sua fórmula, na sua reação com o solo libera íons H^+, provocando acidificação (HAMILTON et al., 1993).

Contudo, verifica-se que as mudas de cambucizeiro apresentaram um boa adaptação a solos ácidos, pois além de não terem sido observados nenhum efeito da acidez sobre o crescimento das mudas em altura, diâmetro de caule e número total de folhas, bem como alterações na área foliar e de raiz e massa seca de raiz e parte aérea, também não foi verificada nenhuma alteração nos parâmetros de transpiração, condutância estomática, taxa de assimilação de CO_2, eficiência instantânea de carboxilação, eficiência do uso da água e teores de clorofila e flavonóides (Tabelas 4, 5, 6 e 7).

Leão (2012) descreve que o ambiente natural de cultivo das plantas de cambucizeiro é em solo ácido com baixo teor de fósforo disponível e baixa saturação por bases. Normalmente, plantas não adaptadas à essas condições teriam o seu potencial de crescimento e desenvolvimento afetados. No entanto, conforme enfatizado no início deste trabalho, há produtores que mencionam boa produção de frutos mesmo sob essas condições, sem a realização de um manejo nutricional adequado.

Por outro lado, embora as mudas de cambucizeiro tenham apresentado um bom

desempenho em ambientes ácidos, fica claro a necessidade do fornecimento de fósforo nessa fase inicial de desenvolvimento das plantas (Tabelas 5, 6, 7 e 8). Maiores teores de P no solo resultaram em plantas bem mais desenvolvidas. Esse efeito do fósforo pode ser explicado pelo fato de se tratar de um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas, atuando no crescimento das raízes, nos processos de armazenamento de energia, na fotossíntese, na multiplicação e divisão celular (TAIZ et al., 2017).

De acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2016) o aumento do crescimento das plantas ocorre quando o teor de P no solo encontra-se acima do teor crítico (4,5 mg dm^{-3}). Apesar de haver diferenças entre os teores de P no solo (Tabela 3) após a correção, não foram observadas diferenças no crescimento das plantas para esses teores (muito baixo, baixo e médio), apenas para o teor alto (Tabela 4), que pode indicar a indisponibilidade desse elemento químico na solução do solo para ser absorvido pelas raízes das plantas (SBCS, 2016).

Resultados similares aos obtidos neste experimento também foram observados por Costa et al. (2013) que verificaram efeito positivo de elevados teores fósforo e potássio sobre o crescimento vegetativo de mudas de gabirobeira (*Campomanesia xanthocarpa*), sem necessidade da aplicação de calcário para a correção do solo. Essas informações evidenciam que a espécie, assim como o cambucizeiro, se desenvolve melhor em solos sem a adição de calcário, com o pH mais baixo, sendo altamente exigente em fósforo.

Foram observados efeitos positivos de elevados teores de fósforo ao solo sobre o crescimento inicial de plantas de guavira (*Campomanesia adamantium*), frutífera nativa do cerrado do mesmo gênero do cambucizeiro e goiabeira serrana, ambas da família Myrtaceae (CARNEVALI, 2013; NATCHIGAL et al., 1994). Goiabeira serrana, proveniente de regiões que predominam solos ácidos e com baixa disponibilidade de fósforo, é muito exigente neste elemento em sua fase inicial de crescimento (NATCHIGAL et al. 1994).

Os valores para o teor de clorofila obtidos neste estudo através do índice SPAD demonstraram que as mudas que cresceram em teores de P elevados se distinguiram daquelas em teores muito baixos. Esses dados corroboram com os encontrados por Natale et al. (2011) que, avaliando a adubação com fósforo em mudas de goiabeira em plantio comercial, verificaram que houve efeito significativo do teor de fósforo sobre essa variável. Além disso, esses dados indicam que sem a correção da acidez e o suprimento de cálcio e magnésio, não ocorrem alterações expressivas no teor de clorofila das folhas em mudas de cambucizeiro, que parece estar relacionado com os diferentes teores de P no solo, do que com a aplicação de corretivos.

Como os teores de fósforo e a correção do solo não proporcionaram efeitos significativos na taxa de assimilação de CO_2, transpiração, condutância estomática, eficiência instantânea de carboxilação e na eficiência do uso da água e no teor de flavonóides nas folhas, é reforçada a hipótese de que esta espécie pode estar bastante adaptada aos solos da região de origem (solos ácidos) (FAVARETTO et al., 2013).

O alto teor de P quando comparado ao muito baixo proporcionou valores superiores para as variáveis referentes à parte aérea e para as variáveis referentes ao sistema radicular (Tabela 7). Esses dados corroboram com Batista et al. (2011), que verificaram que a aplicação de fósforo no solo incrementou a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz de mudas de goiabeira.

Souza et al. (2009), ao pesquisarem sobre a adubação nitrogenada e fosfatada no desenvolvimento inicial de uvaieira, frutífera nativa da Mata Atlântica, também pertencente à família Myrtaceae, observaram que a raiz apresentou maior comprimento sob alta dose de fósforo. Desempenho semelhante foi observado para mudas de pitangueira, Myrtaceae nativa da Mata Atlântica, quando utilizado substratos enriquecidos com adubação fosfatada (ABREU et al., 2005).

Como o P é um elemento essencial às plantas, de maior requerimento, espera-se um efeito melhor da cultura frente a adubação fosfatada. Na Mata Atlântica, região de origem do cambucizeiro, o P é o elemento de maior requerimento devido às reações de fixação e pelo fato dos solos serem altamente intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Neste estudo, verificou-se interação significativa entre a correção e os teores de P no solo, no que diz respeito aos níveis de zinco no solo. Os níveis desse micronutriente em solos não corrigidos e teor de P alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P; Tabela 3 e Figura 1) foram significativamente inferiores aos níveis presentes em solos onde houve a correção da acidez, com o mesmo teor de P. Mesmo assim, não houve interferência nas demais variáveis analisadas.

Quando comparado aos demais micronutrientes, o Zinco é o que apresenta maior probabilidade de se tornar limitante ao desenvolvimento das plantas, principalmente para espécies exigentes (PEREIRA et al., 2007). A concentração desse elemento na solução do solo depende, dentre outros fatores, da concentração de fósforo (HAMILTON et al., 1993) e do pH (MA; LINDSAY, 1993; ANDREOTTI et al., 2001). Segundo Arias et al. (2005), a elevação do pH do solo diminui a concentração de Zn na solução, principalmente porque aumenta a intensidade da adsorção do metal por meio de complexos de esfera interna em decorrência da menor competição com o hidrogênio.

Os dados desse estudo, embora tenham se apresentado contrários quando se compara os tratamentos sem e com correção do solo, dentro da maior dose de P, pois os maiores níveis de zinco foram observados quando se corrige o pH, deve considerar que o MAP promove acidificação na solução do solo por se tratar de um adubo que contém amônia, o que justificaria esse aumento dos níveis de zinco em solo com pH corrigido. Além disso, as concentrações desse elemento na solução do solo dependem da concentração de fósforo (HAMILTON et al., 1993).

2.5 Conclusões

- A correção do solo por meio da aplicação de carbonato de cálcio (CaCO3) e carbonato de magnésio (MgCO3), PRNT de 100% para elevar a saturação de bases a 50%, não afetou o desenvolvimento inicial das plântulas de cambucizeiro.
- Mudas de cambucizeiros cultivadas em solos com teores de P médios (13 a 30 mg dm^{-3} de P) e altos (31 a 60 mg dm^{-3} de P) apresentaram maior desenvolvimento inicial.

Referências

ABREU, N. A.; MENDONÇA, V.; FERREIRA, B. G.; TEIXEIRA, G. A.; SOUZA, H. A.; RAMOS, J. D. Crescimento de mudas de pitangueira (Eugenia uniflora L.) em substratos com utilização de superfosfato simples. **Ciência Agrotecnologia**, v.29, n.6, p. 1117-1124, 2005.

ANDRADE, B. A. G.; FONSECA, P. Y. G. LEMOS, F. **Cambuci – o fruto, a rota, cultura, sustentabilidade e gastronomia.** São Paulo: Ourivesaria da Palavra. 2011. 159 p.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A. de; CRUSCIOL, C.A.C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 321-327, 2001.

ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; OSORIO, F.; LÓPEZ, E.; SOTO, B. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 288, n. 1, p. 21-29, 2005.

BATISTA, M. A. V.; PRADO, R. M.; LEITE, G. A. Resposta de mudas de goiabeira a aplicação de fósforo. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 635-641, 2011.

BORGES, L. A.; SILVA, J. D. **Fertilizantes para fertirrigação. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

BRASIL, E. C.; NASCIMENTO, E. V. S. Influência de calcário e fósforo no desenvolvimento e produção de variedades de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 3, p. 892-902, Setembro 2010.

CARNEVALI, T. O. **Desenvolvimento inicial e eficiência nutricional de Campomanesia adamantium no uso de nitrogênio e fósforo**. 2013. 42 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

COSTA, M. F.; REIS, E. F.; PINTO, J. F. N. **Efeito da calagem e adubação potássica e fosfatada em Campomanesia spp (Myrtaceae).** Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí. Jataí – GO, 2013.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção da acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35: 2303-2307, 2000.

FAVARETTO, A.; MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; FELINI, VANDERLEIA. **Resposta de mirtáceas a calagem.** XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28 de julho a 2 de agosto de 2013, Costão do Santinho Resort, Florianópolis, Santa Catarina.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas.** Lavras: UFLA, 2000. 69p.

FLEXAS, J.; HENDRICKSON, L.; CHOW, W. S. Photoinactivation of photosystem II in high light-acclimated grapevines. **Australian Journal of Plant Physiology.** v. 28, p. 755-764, 2001.

HAMILTON, M. A.; WESTERMANN, D. T.; JAMES, D. W. Factors affeting zinc uptake in cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 1310-1315, 1993.

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

HENNING, S.; COLTRO, S. **Alterações de pH em função da aplicação de fertilizantes fosfatados contendo nitrogênio.** Cascavel, v.2, n.4, p.149-153, 2009.

LEÃO, M. M. **Características do óleo essencial extraído das folhas de *Campomanesia phaea* (O. Berg.) Landrum (cambuci) obtido em duas microrregiões da Mata Atlântica.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, **Potafos**, 1998. 29p.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Nova Odessa: Plantarum**, 1992. 368p

MA, Q. Y.; LINDSAY, W. L. Measurements of free zinc+2 activity in uncontaminated and contaminated soils using chelation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 963-967, 1993.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170, 2005.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 486 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: **Academic Press**, 1995. 674p.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, p. 11-30, 2010.

NACHTIGAL, J. C.; KLUGE, R. A.; ROSSAL, P. A. L.; VAHL, L. C.; HOFFMANN, A. Efeito do fósforo no desenvolvimento inicial de mudas de goiabeira serrana. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, p. 279-283, 1994.

NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M.; BOARETTO, A. E.; PEREIRA, F. M. (Eds.) **Goiabeira: Calagem e Adubação**. FCAV, Jaboticabal, 1996, 22p.

NATALE, W. Adubação, Nutrição e Calagem na Goiabeira. In: Natale, W.; Rozane, D.E.; Souza, H.A.; Amorim, D.A. (Org.). **Cultura da Goiaba: do Plantio à Comercialização**. 1ed. Jaboticabal-SP: Unesp/CAPES/CNPq/FAPESP/Fundunesp/SBF, v. 1, p. 257-279, 2009.

NATALE, W.; SOUZA, H. A. de; DIAS, M. J. T.; MODESTO, V. C.; ROSANE, D. E. **Adubação com fósforo em mudas de goiabeira em viveiro comercial.** Anais e Proceedings de eventos. Resumo expandido. Embrapa Caprinos e Ovinos. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia – MG. Agosto, 2011.

NATALE, W. **Resposta da goiabeira à adubação fosfatada.** 1999. 132 p. Tese de Livre-Docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 1999.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, UFV, DPS, 1999. 399p.

OLMOS, J. I. L.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência Cultura**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 171 - 180, 1976.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdan v.38, p.47- 57, 1996.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória-ES: Incaper, 2013. 104 p

RAIJ, B. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2011a. 420 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Boletim Técnico, 100. 2ª ed. Instituto Agrônomico de Campinas - IAC. Campinas. 1997. 285p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991b. 343p.

RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic Fruits Reference Guide**. Elsevier. 488 p. 2018.

ROMAGNOLO, M.B. **A família Myrtaceae na Estação Ecológica do Caiuá. Diamante do Norte**, PR: projeto de pesquisa. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Biológicas, 2009. 22p.

ROS, C. O. DA; SESTARI, G.; JAEGER, G; OLIVEIRA, E. H.; WEBER, M. L.; SILVA, R. F.; TORCHELSEN, M. Efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição das plantas de *Khaya ivorensis*. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 47, n. 123, p. 430-439, set. 2019.

SAS INSTITUTE. SAS version 9.3 Software. **Statistical Analysis System Institute: Cary, 2018.** Disponível em Available from: http://www.sas.com/en_us/ software/sas9.htm

SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11 ed. Frederico Westphalen: Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376 p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; et al. (ed). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-230.

SOUZA, H. A.; GURGEL, R. L.; TEIXEIRA, G. A.; CAVALLARI, L. L.; RODRIGUES, H. C.; MENDONÇA, V. **Adubação nitrogenada e fosfatada no desenvolvimento de mudas de uvaia. Bioscience Journal**, v.25, n.1, p. 99-103. jan./fev. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TOKAIRIN, T. O. **Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica.** 2017. 134p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

Anexos

Anexo 1. Valores médios referentes à taxa de assimilação de CO_2 (µmol m^{-2} s^{-1}), eficiência instantânea de carboxilação (µmol m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}), eficiência do uso da água (µmol mol^{-1}) e teor de flavonoides (unidade Dualex) das mudas de cambucizeiro ao longo do período experimental. CENA/USP. 2020.

Taxa de assimilação de CO_2 (µmol m^{-2} s^{-1})									
Variável	**180 DAT***			**210 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção***	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a a5 mg dm^{-3} de P)	4,9	3,8	**4,3**	3,8	2,8	**3,3**	5,1	5,0	**5,0**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	4,0	4,5	**4,2**	2,8	3,7	**3,2**	6,1	8,0	**7,1**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	3,2	4,0	**3,7**	2,9	2,9	**2,9**	6,2	3,4	**4,9**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	5,0	5,1	**5,0**	3,9	3,9	**3,9**	8,8	11,3	**10,0**
Média	**4,2**	**4,3**		**3,3**	**3,3**		**6,6**	**7,0**	6,8

Eficiência instantânea de carboxilação (µmol m^{-2} s^{-1} Pa^{-1})									
Variável	**180 DAT***			**210 DAT**			**240 DAT**		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0-5 mg dm^{-3} de P)	0,02	0,01	**0,01**	0,00	0,01	**0,01**	0,02	0,00	**0,00**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	0,01	0,01	**0,01**	0,02	-0,00	**0,01**	-0,14	-0,05	**-0,10**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	0,01	0,02	**0,02**	0,01	0,01	**0,02**	0,01	0,01	**0,01**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	0,02	0,02	**0,02**	0,02	0,02	**0,01**	-0,03	0,00	**-0,01**
Média	**0,02**	**0,02**		**0,01**	**0,01**		**-0,03**	**-0,00**	0,01

Eficiência do uso da água (µmol mol^{-1})									
Variável	180 DAT*			210 DAT			240 DAT		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média[a]**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	2,7	2,6	**2,7**	5,1	-5,5	**-0,1**	13,3	6,7	**10,0**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	2,5	2,5	**2,5**	8,0	6,3	**7,1**	24,1	7,7	**15,9**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	3,0	2,9	**3,0**	11,7	8,8	**10,2**	11,2	6,0	**8,6**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	2,9	27	**2,8**	5,2	5,2	**5,2**	17,0	11,2	**14,1**
Média	**2,8**	**2,7**		**7,5**	**3,7**		**16,4**	**7,9**	12,1

Teor de flavonoides (unidade Dualex)									
Variável	180 DAT*			210 DAT			240 DAT		
Teor de P no solo	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**	**Sem correção**	**Com correção**	**Média**
Muito baixo (0 a 5 mg dm^{-3} de P)	0,8	0,8	**0,8**	0,7	0,7	**0,7**	0,7	0,8	**0,7**
Baixo (6 a 12 mg dm^{-3} de P)	0,8	0,8	**0,8**	0,7	0,7	**0,7**	0,7	0,8	**0,7**
Médio (13 a 30 mg dm^{-3} de P)	0,8	0,9	**0,9**	0,7	0,8	**0,8**	0,7	0,8	**0,7**
Alto (31 a 60 mg dm^{-3} de P)	0,8	0,8	**0,8**	0,8	0,7	**0,7**	0,8	0,7	**0,8**
Média	**0,8**	**0,8**		**0,7**	**0,7**		**0,7**	**0,8**	0,7

[a]Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na vertical comparando o efeito do fator fósforo, e maiúsculas na horizontal comparando o efeito do fator correção, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. *DAT = Dias após o transplantio.

*Aplicação de reagente puro de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e carbonato de magnésio ($MgCO_3$), PRNT de 100%, visando saturação de bases de 50% (V=50%)

Anexo 2. Valores de P referente a todas as variáveis analisadas no experimento ao nível de 5% de significância. *DAT = Dias após o transplantio

P – Valor								
Fator	**Análise de solo**							
	P	**M.O.**	**pH**	**K**	**Ca**	**Mg**	**H + Al**	**SB**
Correção (C)	0,1365	0,7896	0,0002	0,0329	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Teor de P no solo (P)	<0,0001	0,9634	0,0298	0,0682	0,8616	0,6053	0,0003	0,8427
C x P	0,4012	0,4133	0,9752	0,3135	0,8876	0,2659	0,7436	0,7292
Teste F	<0,0001	0,8429	0,0030	0,0498	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

P – Valor							
Fator	**Análise de solo**						
	T	**V (%)**	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
Correção (C)	0,1139	<0,0001	0,9049	0,2318	0,0006	0,6016	0,0769
Teor de P no solo (P)	0,0014	0,0898	0,1361	0,2371	0,0010	0,0930	0,0107
C x P	0,2834	0,5116	0,6391	0,8341	0,8777	0,8394	0,0037
Teste F	0,0048	<0,0001	0,3841	0,4645	0,0006	0,3468	0,0014

P – Valor								
Fator	**Altura das plantas**				**Diâmetro do caule**			
	60 DAT	**120 DAT**	**180 DAT**	**240 DAT**	**60 DAT**	**120 DAT**	**180 DAT**	**240 DAT**
Correção (C)	0,8886	0,3324	0,4324	0,3578	0,1376	0,2337	0,1327	0,0255
Teor de P no solo (P)	0,2277	0,0013	<0,0001	<0,0001	0,3576	0,0344	<0,0001	0,0003
C x P	0,3897	0,2457	0,2695	0,2941	0,6423	0,8977	0,9032	0,7823
Teste F	0,3881	0,0054	0,0004	<0,0001	0,4168	0,1486	0,0010	0,0013

P – Valor								
Fator	**Número total de folhas**				**Teor de clorofila SPAD**			
	60 DAT	**120 DAT**	**180 DAT**	**210 DAT**	**60 DAT**	**120 DAT**	**180 DAT**	**240 DAT**
Correção (C)	0,8348	0,4656	0,6388	0,6306	0,0424	0,6720	0,9461	0,9461
Teor de P no solo (P)	0,5114	0,0194	0,0036	0,0002	<,0001	0,0323	0,0231	0,0010
C x P	0,5786	0,8661	0,6726	0,2999	0,9493	0,9118	0,9481	0,5626
Teste F	0,7313	0,1215	0,0300	0,0014	0,0006	0,1998	0,1736	0,0096

P – Valor						
Fator	**(E) Transpiração (mmol m^{-2} s-^{1})**			**(gs) Condutância estomática (gs, mol m^{-2} s^{-1})**		
	180 DAT	**210 DAT**	**240 DAT**	**180 DAT**	**210 DAT**	**240 DAT**
Correção (C)	0,4225	0,5777	0,0746	0,4405	0,6403	0,1062
Teor de P no solo (P)	0,0561	0,0382	0,0661	0,0452	0,0422	0,0769
C x P	0,5660	0,0662	0,3121	0,6193	0,0608	0,2799
Teste F	0,1754	0,0329	0,0640	0,1640	0,0342	0,0776

P – Valor							
Fator	**Análises destrutivas**						
	Massa seca parte aérea	**Massa seca raiz**	**Área foliar**	**Comprimento da raiz**	**Área superfície raiz**	**Diâmetro médio raiz**	**Volume raiz**
Correção (C)	0,1423	0,1505	0,1114	0,1245	0,1002	0,0766	0,1073
Teor de P no solo (P)	<0,0001	0,0006	<0,0001	0,0014	0,0021	<0,0001	0,0038
C x P	0,8777	0,7724	0,8991	0,4463	0,5309	0,1609	0,5998
Teste F	0,0005	0,0051	0,0013	0,0059	0,0083	<0,0001	0,0150

P – Valor									
Fator	**(A) Taxa de assimilação de CO2 (µmol m^{-2} s^{-1})**			**(A/Ci) Eficiência instantânea de carboxilação (µmol m^{-2} s^{-1} Pa^{-1})**			**(A/gs) Eficiência do uso da água (µmol mol^{-1})**		
	180 DAT	**210 DAT**	**240 DAT**	**180 DAT**	**210 DAT**	**240 DAT**	**180 DAT**	**210 DAT**	**240 DAT**
Correção (C)	0,8567	0,9286	0,6899	0,8716	0,5618	0,6104	0,6892	0,2454	0,1125
Teor de P no solo (P)	0,2683	0,2900	0,0522	0,6840	0,7538	0,4073	0,4485	0,1732	0,7989
C x P	0,5819	0,3841	0,8495	0,5421	0,5278	0,8645	0,9978	0,6960	0,8829
Teste F	0,5376	0,4440	0,2586	0,8067	0,7970	0,7782	0,8868	0,3506	0,7408

3. DIAGNOSE VISUAL DE SINTOMAS DE DEFICIÊNICAS NUTRICIONAIS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAMBUCIZEIRO (*Campomanesia phaea* O. BERG LANDRUM)

Resumo

O cambucizeiro é uma das espécies da família Myrtaceae pouco explorada e estudada. Há falta de conhecimento sobre os aspectos produtivos do cultivo do cambucizeiro, principalmente quanto ao manejo nutricional das plantas e da fertilidade do solo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os efeitos da deficiência nutricional de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e de ferro em mudas de cambucizeiro sob sistema hidropônico. O sistema hidropônico adotado foi o "floating" com aeração constante. O delineamento experimental adotado foi o DIC com oito tratamentos e quatro repetições, sendo cada repetição composta por três plantas. Os tratamentos utilizados no experimento foram: Controle (solução nutritiva completa), omissão de nitrogênio (-N), omissão de fósforo (-P), omissão de potássio (-K), omissão de cálcio (-Ca), omissão de magnésio (-Mg), omissão de enxofre (-S) e omissão de ferro (-Fe). As variáveis analisadas foram: altura, diâmetro do caule, teor de clorofila e coloração das folhas novas e velhas, área foliar, massa seca da parte aérea, comprimento, diâmetro médio, área superficial, volume e massa seca do sistema radicular. Também foram caracterizados os sintomas visuais. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos comparados com a solução controle através do teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade através do software estatístico SAS®. Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento para verificar os efeitos dos tratamentos nas variáveis biométricas. Foi possível observar que o desenvolvimento inicial de plântulas de cambucizeiros é afetado pela omissão de todos os macronutrientes e do ferro. A ausência de cada nutriente afeta de forma diferenciada o desenvolvimento das plantas de cambucizeiro. Todas as omissões resultaram em perdas significativas de matéria seca e área foliar. A omissão de P, K e S afetou diretamente o diâmetro do sistema radicular bem como clorofila e coloração das folhas novas. A retirada de N, Ca e Mg afetou diretamente o comprimento do sistema radicular bem como a altura e diâmetro do caule das plantas. As cores das folhas e teores de clorofila das folhas novas e velhas foram drasticamente afetadas, apresentando coloração verde-pálido à amarelado.

Palavras-chave: Cambuci; Sintomas de deficiência; Macronutrientes; Sistema hidropônico; Plântulas de cambucizeiro.

Abstract

The cambuci tree is one of the species of the Myrtaceae family that has been little explored and studied. There is a lack of knowledge about the productive aspects of the cultivation of cambuci trees, especially regarding the nutritional management of plants and soil fertility. The objective of this work was to characterize the effects of nutritional deficiency of macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur) and iron in cambuci seedlings under hydroponic system. The hydroponic system adopted was "floating raft" with constant aeration. The experimental design adopted was CRD (Completely Randomized Design) with eight treatments and four repetitions, each repetition being composed of three plants. The treatments used in the experiment were:

control (complete nutrient solution); N deficiency (nutrient solution with N omission); P deficiency (nutrient solution with P omission); K deficiency (nutrient solution with omission of K); Ca deficiency (nutrient solution with omission of Ca); Mg deficiency (nutrient solution with Mg omission); S deficiency (nutrient solution with omission of S); Fe deficiency (nutrient solution with omission of Fe). The variables analyzed in the study were: plants height, stem diameter, chlorophyll content, leaves color, leaves area, nutrient content in leaves, dry mass of the aerial parts and the also regarding length, diameter, superficial area, volume, and dry mass of the radicular system. The visual symptoms of the nutritional deficiencies were also evaluated. The collected data were submitted to statistical evaluation by the Dunnett test at 5% probability using the SAS® software. A Principal Component Analysis (PCA) and a Cluster Analysis were realized in order to verify the treatment effects in the biometrical variables. It could be concluded that the deficiency of macronutrients and iron negatively affect the initial development of cambuci trees. The absence of each nutrient affects the plants development in a different way. All of the eight treatments resulted in significant reduction of dry mass and leaf area. The omission of P, K and S affected directly the radicular system diameter, the chlorophyll content and the color of the younger leaves. The lack of N, Ca and Mg affected directly the roots system length as well as plants heigh and steam diameter. The color and the chlorophyll content of younger and older leaves were drastically impacted, changing the aspect from a dark green to a pale green or even yellow leaves.

Keywords: Cambuci; Deficiency symptoms; Macronutrients; Floating; Seedlings of cambuci.

3.1 Introdução

O cambucizeiro é uma das espécies da família Myrtaceae pouco explorada e estudada. Seus frutos são carnosos e ainda que de aroma bastante adocicados, são muito ácidos e adstringentes (LANDRUM e KAWASAKI, 1997a), o que não favorece o seu consumo *in natura.* Ainda assim, a produção de cambuci pode ser empregada na alimentação humana na forma de doces, sucos, sorvetes e geleias; na área farmacêutica devido ao seu alto teor de compostos fenólicos (LANDRUM e KAWASAKI 1997a; DONADO-PESTANA et al. 2015) e na indústria alimentícia. O óleo essencial tem características para ser utilizado produção de cosméticos e fármacos (LEÃO, 2012) e a planta também pode ser empregada na indústria madeireira e para fins de reflorestamento (RODRIGUES et al., 2018).

Mesmo com esses atributos, falta conhecimento sobre os aspectos produtivos do cultivo do cambucizeiro (TOKAIRIN, 2017), principalmente quanto ao manejo nutricional das plantas e da fertilidade do solo, que podem trazer impactos na produção. Estudos acerca da nutrição mineral de goiabeira, outra espécie frutífera da família Myrtaceae, cuja produção é realizada em escala comercial, mostraram que a adubação e controle de pH tem efeitos positivos na produção dos frutos (PRADO et al., 2005; NATALE, 1999; NATALE et al., 2007; CORRÊA et al., 2003).

Na nutrição mineral de plantas, é importante considerar a composição dos nutrientes como um todo, pois o desbalanço de algum elemento pode influenciar a absorção de outro, alterando a composição mineral das folhas e, consequentemente, todo o desenvolvimento da planta (RAIJ, 1991). Esses desarranjos metabólicos decorrentes das deficiências nutricionais eventualmente se manifestam em sintomas visíveis (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Espera-se que a ausência de um determinado elemento provoque anormalidades visíveis semelhantes, independente da espécie vegetal (MALAVOLTA, 1980). Entretanto, a generalização dos sintomas visuais de deficiência de cada nutriente de acordo com sua função, segundo Epstein e Bloom (2006), pode ser mais ou menos precisa, pois sua manifestação também depende de fatores ambientais e da severidade da deficiência.

Neste sentido, o cultivo hidropônico permite o avanço nos estudos de nutrição mineral, por ser uma técnica que permite o controle rigoroso da composição da solução nutritiva e possibilita a indução de deficiências (PRADO, 2008) em plantas no início do seu desenvolvimento.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os efeitos da deficiência nutricional de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e de ferro em mudas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum).

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no ano de 2020, nas dependências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, em Piracicaba, SP, sob casa-de-vegetação, contando com o fornecimento constante de água deionizada, climatizadores evaporativos, ventiladores e sombrite, em sistema floating (sistema flutuante) de hidroponia com aeração.

As mudas de cambucizeiro foram obtidas a partir de sementes de frutos oriundos de um pomar comercial localizado em propriedade particular no município de Natividade da Serra, SP, Brasil (23°3’ S e 45°27’ W e 712 m de altitude). As sementes foram extraídas, lavadas e semeadas em bandejas de isopor com 72 células, preenchidas com substrato comercial a base de casca de pinus, vermiculita e carvão (Basaplant Citrus®). Cerca de 150 dias após a semeadura (cinco meses depois), as mudas de cambucizeiros com aproximadamente 10 cm de altura foram selecionadas, buscando máxima uniformidade. As mudas foram retiradas das bandejas de isopor, o substrato lavado com água deionizada e as mudas alocadas ao sistema floating de hidroponia em solução completa para adaptação. As mudas de cambucizeiro permaneceram em adaptação nesse sistema de cultivo durante cinco

meses. Uma vez adaptadas ao sistema, procedeu-se a aplicação dos tratamentos estudados (omissões nutricionais).

Durante a fase de adaptação a esse sistema de cultivo, as mudas foram colocadas em esponja hidropônica e transferidas para bandejas de poliestireno expandido revestido com polietileno, contendo solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) modificada por Sarruge (1970) quanto ao potencial osmótico. As dimensões das bandejas eram as seguintes: 90 cm de comprimento x 40 cm de largura x 35 cm de altura, e volume aproximado de 57 litros. Grades de plástico pintadas com cor clara para evitar o aumento de temperaturas, com 96 furos, foram adaptadas às bandejas para o perfeito encaixe das esponjas hidropônicas contendo as mudas de cambucizeiro. Foram colocadas em cada bandeja 96 mudas (Figuras 1A e 1B). A solução nutritiva utilizada na fase de adaptação das mudas de cambucizeiro, foi a mesma utilizada no tratamento controle deste estudo, no entanto, em baixa concentração (solução completa diluída a 50%).

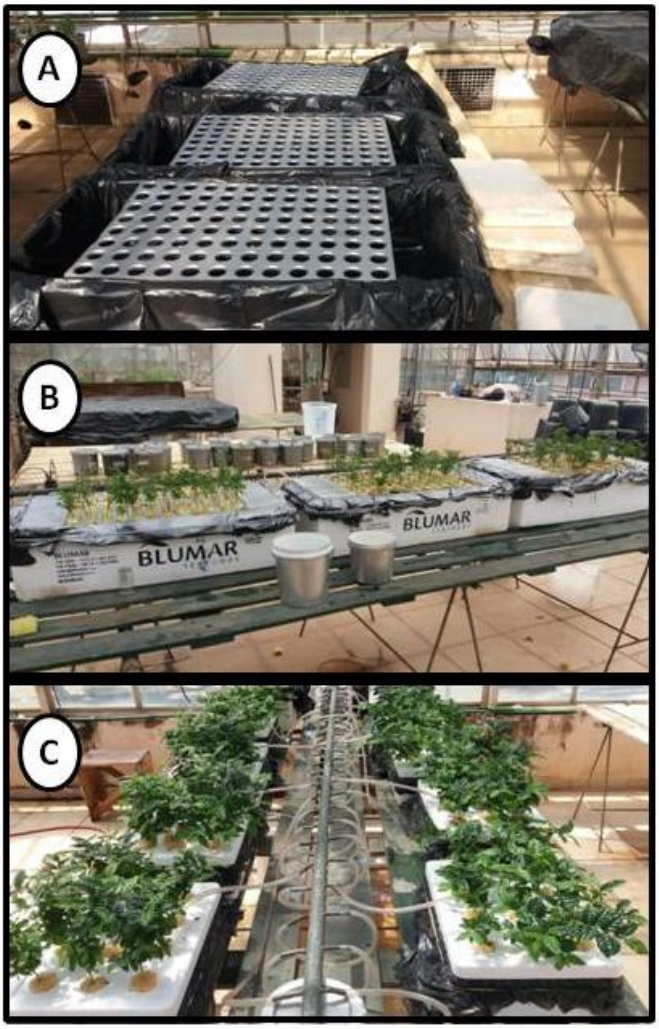

Figura 1. Mudas de cambucizeiro em sistema floating com aeração. **(A)** Detalhe das bandejas, grade e **(B)** disposição das mudas na fase de adaptação na lâmina de solução nutritiva. **(C)** Disposição das mudas em sistema floating de hidroponia com os tratamentos propostos. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

No sistema hidropônico floating (sistema flutuante) com aeração constante parte das raízes das plantas se encontra na esponja hidropônica e a outra parte passa pela esponja e chega até a lâmina de solução nutritiva, onde permanece submersa nessa solução por todo o período de cultivo. Além do controle da aeração, foram monitorados o pH 5,5 (± 0,5) e a condutividade elétrica em 2,4 (± 0,2) mS cm^{-1}, diariamente. Com relação à solução nutritiva, esta era completamente renovada semanalmente e os recipientes lavados.

Após a etapa de adaptação, as mudas foram transplantadas para um recipiente de poliestireno expandido revestido com polietileno (40 cm de comprimento x 25 cm de largura x 19 cm de altura) e com capacidade de sete litros (Figura 1C). Cada recipiente comportava

doze plantas, espaçadas de 8 x 8 centímetros. Em todos os recipientes, prosseguiu-se com o fornecimento da solução nutritiva completa por mais um mês antes da introdução dos tratamentos, de modo a garantir que nenhuma alteração visual causada por um possível estresse decorrente do transplantio fosse confundido com os sintomas de omissão dos nutrientes.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com oito tratamentos e quatro repetições, sendo cada repetição composta por três plantas, totalizando 96 plantas em avaliação. Os tratamentos utilizados no experimento foram:

1- Controle (solução nutritiva completa);
2- Solução nutritiva com omissão de nitrogênio (-N);
3- Solução nutritiva com omissão de fósforo (-P);
4- Solução nutritiva com omissão de potássio (-K);
5- Solução nutritiva com omissão de cálcio (-Ca);
6- Solução nutritiva com omissão de magnésio (-Mg);
7- Solução nutritiva com omissão de enxofre (-S);
8- Solução nutritiva com omissão de ferro (-Fe).

As soluções nutritivas empregadas em cada um dos tratamentos são descritas na tabela 1. Para o tratamento controle, as mudas de cambucizeiro receberam a solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950) modificada por Sarruge (1970) quanto ao potencial osmótico. Já para os demais tratamentos, as mudas de cambucizeiro receberam as soluções nutritivas baseada nesta mesma solução, entretanto, com a omissão dos nutrientes correspondentes ao tratamento.

Todos os recipientes contendo os tratamentos foram mantidos sob constante aeração e diariamente cada solução era monitorada, mantendo-se o pH entre 5,5 (± 0,5) com a adição de HCl 0,1mol L^{-1} ou NaOH 0,1mol L^{-1} e a condutividade elétrica em 2,4 (± 0,2) mS cm^{-1}. Quando através de um condutivímetro, observou-se valores da condutividade elétrica abaixo de 2,2 (± 0,2) mS cm^{-1}, era acrescentada solução nutritiva e quando os valores eram superiores a 2,6 mS cm^{-1}, adicionava-se água deionizada. Semanalmente a solução era completamente renovada e os recipientes lavados.

Tabela 1. Composição química de nutrientes para o preparo de 1000 litros de solução nutritiva. CENA/USP, Piracicaba, 2020.

Sais da solução estoque		Volume de solução estoque em mL para 1L de solução nutritiva							
		Completo	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Fe
KH_2PO_4	1M	1	1	-	-	1	1	1	1
KNO_3	1M	5	-	5	-	5	5	5	5
$Ca(NO_3)_2$	1M	5	-	5	5	-	5	5	5
$MgSO_4$	1M	2	2	2	2	2	-	-	2
NaH_2PO_4	1M	-	-	-	1	-	-	-	-
$NaNO_3$	1M	-	-	-	5	10	-	-	-
$MgCl_2$	1M	-	-	-	-	-	-	2	-
KCl	1M	-	5	1	-	-	-	-	-
$CaCl_2$	1M	-	5	-	-	-	-	-	-
$(Na)_2SO_4$	1M	-	-	-	-	-	2	-	-
Solução de micronutrientes*		1	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA**		1	1	1	1	1	1	1	-

Fonte: Hoagland e Arnon (1950) modificada por Sarruge (1970) Notas: *Cada litro da solução de micronutrientes foi composto por: 2,86 g de H_3BO_3, 1,81 g de $MnCl_2$, 0,22 g de $ZnSO_4$, 0,08 g de $CuSO_4$ e 0,02 g de H_2MoH_2O. ** Solução de Fe-EDTA obtida a partir da dissolução de 26,1 g de EDTA-Na em 286 ml de NaOH, misturada com 24,9g de $FeSO_4.7H_2O$. A solução foi arejada por 12 horas e ao final, o volume total completado para 1L.

As avaliações foram realizadas a cada 14 dias, sendo finalizadas aos 84 dias após a instalação do experimento. A altura foi aferida da região do colo até o último par de folhas, com uma régua graduada em centímetros e o diâmetro utilizando-se um paquímetro digital, com os valores expressos em milímetros. Nas mesmas datas, o teor de clorofila, medido no segundo par de folhas novas e no penúltimo par de folhas velhas de cada planta, foi contabilizado de forma a caracterizar os efeitos da omissão dos nutrientes, com o uso de um medidor eletrônico de clorofila (ClorofiLOG modelo CFL1030 - Falker), sendo o valor expresso em Índice de Clorofila Falker (ICF).

Por fim, a coloração das folhas foi determinada seguindo os mesmos critérios das medições para o teor de clorofila, por meio de um colorímetro (CR-410 – Konica Minolta), através de anotações matemáticas utilizando coordenadas do espaço de cor L*a*b*, também conhecido como espaço de cor CIELAB. Tal modelo relaciona os valores de cor com a percepção visual e descreve a cor do objeto de interesse em três caracteres: L* varia de 0 a 100 e corresponde a luminosidade, a* e b* variam de -60 a 60 e expressam as coordenadas num plano cartesiano onde o eixo a* compreende as cores vermelho e verde e b* as cores amarelo e azul (KONICA MINOLTA SENSING, 1998).

Ao final do período experimental, 84 dias, as mudas de cambucizeiro foram submetidas às seguintes avaliações destrutivas: (i) massa seca da parte aérea e do sistema radicular: avaliadas após o corte das plantas na região do colo, separando as partes, e colocando-as em estufa de circulação e renovação de ar Marconi (Modelo MA-035), a temperatura de 60ºC, até atingir peso constante, expressa em gramas por planta; (ii) área foliar, expressa em cm², obtida através de um integrador de área foliar LICOR, modelo LI-3100; (iii) área, comprimento total, volume e diâmetro médio do sistema radicular, obtidos por meio de digitalização de imagem pelo scanner HP Scanjet 4c/T e o software WinRHIZO® Reg 3.8b (Regent Instruments Inc., 2013); (iv) análise foliar dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), a fim de caracterizar o seu teor em cada tratamento. Os sintomas visuais da deficiência de cada nutriente foram caracterizados, descritos e registros fotográficos também foram efetuados.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas com a solução controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade através do software estatístico SAS® v 9.4. As variáveis biométricas (altura e diâmetro) juntamente com as variáveis resultantes da análise destrutiva foram submetidas a análise multivariada de componentes principais (ACP) seguida de análise de agrupamento (AG).

3.3 Resultados

No decorrer do período experimental, foi possível observar diferenças estatísticas significativas para as variáveis altura e diâmetro a partir do 28º dia da entrada das plantas nas diferentes soluções nutritivas (Tabela 2).

Ao final dos 42 dias experimentais, a altura média das plantas de cambucizeiros cultivadas em solução completa (controle) foi de 15,80 cm, não diferindo das cultivadas nas soluções com omissão de potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S), que apresentaram 14,38, 11,21 e 11,44 cm, respectivamente. Todas as outras soluções apresentaram plantas de menor altura, com cerca de 50% do tamanho das cultivadas na solução controle (Tabela 2).

Quanto ao diâmetro do caule, logo aos 14 dias após a instalação do experimento foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com omissão de -P, -Ca, -Mg e -Fe e a solução controle (completa). As diferenças se mantiveram até o fim dos 42 dias experimentais, apresentando reduções significativas de 40 até 62% para as soluções com omissão de magnésio (-Mg) e ferro (-Fe), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de altura (cm) e diâmetro (mm) das mudas de cambucizeiro no decorrer do período experimental. CENA/USP. 2020.

Solução	Altura (cm)			Diâmetro (mm)		
	28	56	84	28	56	84
Controle	3,30	5,63	15,80	0,57	1,04	1,53
-N	2,26^{ns}	3,84*	6,30*	0,36^{ns}	0,60*	1,07^{ns}
-P	2,37^{ns}	3,43*	8,74*	0,27*	0,57*	0,73*
-K	2,63^{ns}	4,56^{ns}	14,38^{ns}	0,42^{ns}	0,68*	1,16^{ns}
-Ca	2,52^{ns}	3,84*	6,63*	0,28*	0,48*	0,61*
-Mg	2,29^{ns}	3,91*	11,21^{ns}	0,30*	0,56*	0,92*
-S	2,60^{ns}	4,17^{ns}	11,44^{ns}	0,36^{ns}	0,56*	1,21^{ns}
-Fe	2,74^{ns}	3,94*	7,68*	0,15*	0,42*	0,57*
Média	2,59	4,17	10,29	0,34	0,61	0,98
P-valor	0,45	0,01	<0,0001	0,0003	<0,0001	<0,0001

*Médias que diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. ns = não significativo. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

Nos teores de clorofila presente nas folhas novas só foi possível observar diferenças estatísticas entre os tratamentos e a solução controle 28 dias após a instalação do experimento (Tabela 3). Os primeiros tratamentos a apresentar diferenças nos valores de clorofila foram as soluções com omissão de nitrogênio (-N) e ferro (-Fe). A redução do teor da clorofila A foi de cerca de 20%, enquanto a redução da clorofila B foi ainda maior, cerca de 40% dos valores observados para os tratamentos e a solução completa.

Estas diferenças se mantiveram e aumentaram até o final do período experimental. Na última avaliação, 42 dias após a instalação do experimento, outros tratamentos também passaram a diferir do controle. Apenas as soluções com omissão de fósforo (-P) e potássio (-K) não apresentaram diferenças significativas da solução controle, já que apresentaram reduções pequenas no teor de clorofila e, no caso da omissão de potássio (-K), aumento nos teores das folhas novas (Tabela 3).

Já os teores de clorofila nas folhas velhas seguiram um padrão similar ao das folhas novas, uma vez que também passaram a apresentar diferenças significativas apenas 28 dias após a instalação do experimento (Tabela 4). Nesta data, a solução com omissão de nitrogênio (-N) apresentou redução significativa para os três valores de clorofila, A, B e total, de 11,4, 46,5 e 18,8% respectivamente, quando comparado com a solução controle. Os tratamentos com omissão de magnésio (-Mg) e fósforo (-P) por sua vez, apresentaram reduções na faixa de 6%, mas apenas para os níveis da clorofila A (Tabela 4).

Assim como observado para as folhas novas, ao final do período experimental novos tratamentos passaram a apresentar diferenças significativas da solução completa para os teores de clorofila em folhas velhas. Apenas o tratamento com omissão de potássio (-K) não apresentou diferenças significativas para nenhum dos tipos de clorofila (Tabela 4).

Tabela 3. Teor de clorofila A, B e Total em folhas novas de mudas de cambucizeiros, expressos pelo Índice de Clorofila Falker (ICF), no decorrer do período experimental. CENA/USP. 2020.

Solução	28 dias			56 dias			84 dias		
	Clorofila								
	A	B	Total	A	B	Total	A	B	Total
Controle	43,80	15,58	60,71	43,77	16,98	60,75	44,76	18,68	63,45
-N	41,72^{ns}	12,85^{ns}	52,82^{ns}	35,51*	9,73*	45,25*	29,31*	6,93*	36,24*
-P	45,13^{ns}	17,23^{ns}	62,36^{ns}	44,05^{ns}	18,85^{ns}	62,9^{ns}	43,88^{ns}	19,35^{ns}	62,53^{ns}
-K	44,06^{ns}	15,29^{ns}	59,03^{ns}	44,12^{ns}	17,36^{ns}	61,48^{ns}	45,76^{ns}	19,93^{ns}	65,70^{ns}
-Ca	44,25^{ns}	15,95^{ns}	60,20^{ns}	42,90^{ns}	15,87^{ns}	58,77^{ns}	34,14*	9,62*	43,76*
-Mg	44,18^{ns}	15,63^{ns}	60,81^{ns}	41,80^{ns}	14,90^{ns}	56,71^{ns}	36,81*	10,57*	46,48*
-S	44,15^{ns}	13,79^{ns}	59,95^{ns}	42,11^{ns}	15,33^{ns}	57,43^{ns}	39,60*	13,92*	53,52*
-Fe	41,54^{ns}	13,82^{ns}	57,42^{ns}	35,09*	9,16*	44,25*	37,44*	11,46*	48,10*
Média	43,62	15,03	59,04	41,17	14,77	55,94	38,89	13,75	52,37
P-valor	0,37	0,25	0,35	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Médias que diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. ns = não significativo. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe)

Tabela 4. Teor de clorofila A, B e Total em folhas velhas de mudas de cambucizeiros, expressos pelo Índice de Clorofila Falker (ICF), no decorrer do período experimental. CENA/USP. 2020.

Solução	28 dias			56 dias			84 dias		
	Clorofila								
	A	B	Total	A[1]	B	Total	A	B	Total
Controle	46,59	19,99	63,18	47,35	22,93	70,28	47,96	27,34	75,3
-N	44,01^{ns}	17,01^{ns}	61,03^{ns}	41,94*	12,27*	57,06*	19,27*	4,85*	25,69*
-P	44,20^{ns}	16,60^{ns}	60,80^{ns}	44,28*	18,46^{ns}	62,45^{ns}	43,40*	20,86*	66,28*
-K	42,31^{ns}	17,11^{ns}	57,13^{ns}	46,21^{ns}	19,67^{ns}	64,78^{ns}	47,54^{ns}	25,25^{ns}	71,80^{ns}
-Ca	43,20^{ns}	19,21^{ns}	62,41^{ns}	45,77^{ns}	20,20^{ns}	64,87^{ns}	43,46*	23,87^{ns}	67,33^{ns}
-Mg	42,50^{ns}	14,78^{ns}	57,28^{ns}	44,46*	19,46^{ns}	63,92^{ns}	43,10*	22,22^{ns}	65,33*
-S	41,69^{ns}	16,61^{ns}	58,30^{ns}	46,22^{ns}	20,21^{ns}	64,77^{ns}	37,45*	16,63*	61,83*
-Fe	46,12^{ns}	18,23^{ns}	64,35^{ns}	45,67^{ns}	19,40^{ns}	62,91^{ns}	41,62*	20,67*	64,35*
Média	43,78	17,44	60,56	45,35	19,08	61,12	40,6	20,21	62,14
P-valor	0,43	0,30	0,57	<0,0001	0,0002	0,03	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Médias que diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. ns = não significativo. **Dados transformados** segundo as funções: [1]$f(x) = \log_{10}(x)$; Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

As avaliações realizadas com o colorímetro apresentaram desempenho diferente das análises de clorofila, sendo possível observar diferenças significativas entre as folhas novas de alguns tratamentos logo aos 14 dias após a omissão dos nutrientes (Tabela 5).

As folhas novas dos cambucizeiros das soluções com omissão de enxofre (-S) e ferro (-Fe) foram as primeiras a apresentar aumentos significativos nos valores de luminosidade (L*), 7 e 10%, respectivamente. Para ambas as coordenadas, vermelho-verde (a*) e amarelo-azul (b*), apenas a solução com omissão de ferro (-Fe) apresentou aumento significativo, de 30 e 40% respectivamente (Tabela 5).

Com o passar do tempo, novos tratamentos passaram a apresentar diferenças significativas quando comparados ao controle. Ao fim do período experimental, para as folhas novas, apenas as soluções com omissão de fósforo (-P) e potássio (-K) não apresentaram diferenças significativas da solução controle (completa).

De forma geral, a tendência observada para estas variáveis nas folhas novas foi de aumento dos valores de luminosidade (L*), deslocamento negativo para a coordenada vermelho-verde (a*), portanto, sentido verde, e deslocamento positivo para a coordenada amarelo-azul (b*), portanto, sentido amarelo (Tabela 5). Tais alterações indicam que as folhas novas passaram a apresentar colorações de verde-pálido tendendo para o amarelo, coincidindo com os sintomas de deficiência nutricional da maioria dos nutrientes avaliados neste trabalho.

Por outro lado, para os resultados das folhas velhas, só foram observadas diferenças significativas para os tratamentos com omissão de nitrogênio (-N) e magnésio (-Mg) (Tabela 6). Essas diferenças seguiram as mesmas tendências observadas nas folhas novas para as variáveis L*, a* e b*, característico de cloroses oriundas de deficiências nutricionais.

Tabela 5. Valores médios referentes à coloração de folhas novas, expressos pelas coordenadas do espaço de cor L*a*b* (CIELAB), em mudas de cambucizeiro no decorrer do período experimental, em função da deficiência nutricional. CENA/USP. 2020.

Solução	28 dias			56 dias			84 dias		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Controle	34,33	-12,00	14,71	33,41	-11,63	14,32	33,24	-10,10	12,14
-N	36,15^{ns}	-13,05^{ns}	16,59^{ns}	38,22*	-15,10*	20,24*	40,65*	-15,76*	23,54*
-P	34,25^{ns}	-11,71^{ns}	14,73^{ns}	32,46^{ns}	-9,77^{ns}	12,50^{ns}	32,70^{ns}	-9,65^{ns}	12,30^{ns}
-K	34,38^{ns}	-12,23^{ns}	15,01^{ns}	33,85^{ns}	-11,69^{ns}	14,75^{ns}	33,74^{ns}	-10,57^{ns}	13,19^{ns}
-Ca	34,32^{ns}	-11,77^{ns}	14,79^{ns}	34,39^{ns}	-11,59^{ns}	14,98^{ns}	37,92*	-15,34*	23,68*
-Mg	34,84^{ns}	-11,99^{ns}	15,24^{ns}	34,58^{ns}	-11,60^{ns}	14,58^{ns}	37,01*	-14,17*	18,92*
-S	36,88*	-13,01^{ns}	16,75^{ns}	36,42*	-13,55^{ns}	17,92*	36,19*	-13,03*	15,56^{ns}
-Fe	37,91*	-15,50*	20,66*	39,09*	-16,35*	22,88*	36,91*	-14,16*	19,42*
Média	35,38	-12,63	16,07	35,3	-12,65	16,52	35,98	-12,85	17,33
P-valor	<0,0001	0,006	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

L* = Luminosidade; a* = coordenada vermelho/verde (+a* indica vermelho e –a* indica verde; b* = coordenada amarela/azul (+b* indica amarelo e –b* indica azul). *Médias que diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. ns = não significativo. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

Tabela 6. Valores médios referentes à coloração de folhas velhas, expressos pelas coordenadas do espaço de cor L*a*b* (CIELAB), em mudas de cambucizeiro no decorrer do período experimental, em função da deficiência nutricional. CENA/USP. 2020.

Solução	28 dias			56 dias			84 dias		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*[1]	a*[2]	b*[3]
Controle	31,53	-8,05	10,81	31,65	-7,90	10,50	31,43	-7,24	9,76
-N	32,01^{ns}	-8,70^{ns}	11,35^{ns}	34,15*	-11,30*	15,35*	46,66*	-11,90*	32,68*
-P	32,45^{ns}	-9,17^{ns}	12,46^{ns}	32,38^{ns}	-9,37^{ns}	12,62^{ns}	31,91^{ns}	-6,37^{ns}	9,55^{ns}
-K	32,50^{ns}	-9,22^{ns}	12,37^{ns}	32,8^{ns}	-9,18^{ns}	12,69*	31,90^{ns}	-6,26^{ns}	9,51^{ns}
-Ca	31,33^{ns}	-8,03^{ns}	11,03^{ns}	31,77^{ns}	-8,21^{ns}	11,4^{ns}	31,63^{ns}	-6,76^{ns}	9,79^{ns}
-Mg	32,40^{ns}	-8,82^{ns}	11,75^{ns}	33,13*	-9,91*	13,23*	31,75^{ns}	-7,15^{ns}	10,26^{ns}
-S	31,18^{ns}	-7,84^{ns}	10,69^{ns}	32,23^{ns}	-9,13^{ns}	12,12^{ns}	31,44^{ns}	-7,07^{ns}	10,26^{ns}
-Fe	31,78^{ns}	-8,18^{ns}	11,08^{ns}	31,90^{ns}	-8,35^{ns}	11,33^{ns}	33,18*	-8,60^{ns}	11,93*
Média	31,90	-8,50	11,44	32,42	-9,17	12,28	33,33	-7,47	13,08
P-valor	0,05	0,17	0,12	0,0006	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

L* = Luminosidade; a* = coordenada vermelho/verde (+a* indica vermelho e –a* indica verde; b* = coordenada amarela/azul (+b* indica amarelo e –b* indica azul). *Médias que diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. ns = não significativo. **Dados transformados** segundo as funções: $^{1}f(x) = 1/x^2$; ^{2} $f(x) = \sqrt{(1/x)}$; ^{3} $f(x) = 1/x$. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

As variáveis oriundas das análises destrutivas, tanto do sistema radicular quanto da parte aérea, estão descritas na tabela 7. Das variáveis do sistema radicular, apenas o comprimento, diâmetro médio e massa seca apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e a solução controle.

As soluções com omissão de nitrogênio (-N), cálcio (-Ca) e magnésio (-Mg) apresentaram reduções significativas no comprimento do sistema radicular das plantas de cambucizeiro, de 44, 45 e 59% respectivamente. Da mesma forma, as soluções com omissão de fósforo (-P), potássio (-K) e enxofre (-S) reduziram em 22, 17 e 15% os valores do diâmetro médio das raízes.

Quanto a massa seca do sistema radicular, todos as soluções causaram reduções significativas quando comparadas a solução controle. A redução média observada para essa variável foi de cerca de 51%, variando de 38% para a solução com omissão de potássio (-K) a 60% para a solução com omissão de cálcio (-Ca).

As variáveis da parte aérea, área foliar e massa seca, também apresentaram reduções significativas na ausência dos diferentes nutrientes. Para ambas as variáveis a redução média, na ausência dos nutrientes foi de 60% (Tabela 7).

Para a omissão de enxofre (-S) a redução da área foliar chegou ao nível de 94% quando comparada com a solução controle, já a omissão de nitrogênio (-N) causou uma redução de 70% do valor de massa seca da parte aérea das plantas de cambucizeiro, de 13,39g para 4,08g (Tabela 7).

Os resultados das análises nutricionais de macro e micronutrientes estão descritos na tabela 8. Estes resultados evidenciam que as soluções com omissão nutricional garantiram diferenças significativas entre o teor dos nutrientes omissos nas folhas dos tratamentos quando comparados as folhas da solução controle.

Apenas o teor de ferro nas folhas de plantas de cambucizeiro da solução com omissão de ferro (-Fe) não diferiram dos teores observados para a solução completa. Além disso, os teores de ferro nas soluções com omissão de nitrogênio (-N) e fósforo (-P) apresentaram médias muito maiores quando comparadas ao controle (Tabela 8).

Por fim, a análise de componentes principais das variáveis biométricas (altura, diâmetro) juntamente com as variáveis das análises destrutivas (massa seca da parte aérea e sistema radicular, área foliar, comprimento, diâmetro médio, área superficial e volume do sistema radicular) expõe de forma clara como a omissão dos nutrientes influencia na qualidade das plantas de cambucizeiro (Figura 2).

O componente principal 1 (CP1) foi responsável por 68,28% da variância enquanto o segundo componente (CP2) 16,9%. Juntos, os dois componentes principais garantiram a explicação de 85,18% da variância existente no trabalho (Figura 2).

Todas as variáveis apresentaram pesos intermediários no CP1, variando de 0,23 a 0,40, o CP2 por sua vez apresentou grande influência do diâmetro médio do sistema radicular (DMSR, 0,60) e da área foliar (AF, 0,45).

Desta forma, todos os tratamentos com omissão de nutrientes ficaram opostos ao tratamento controle (solução nutricional completa), indicando que todos apresentaram médias multivariadas inferiores ao do controle e, portanto, plântulas de qualidade inferior, menores, com menor biomassa e características radiculares inferiores.

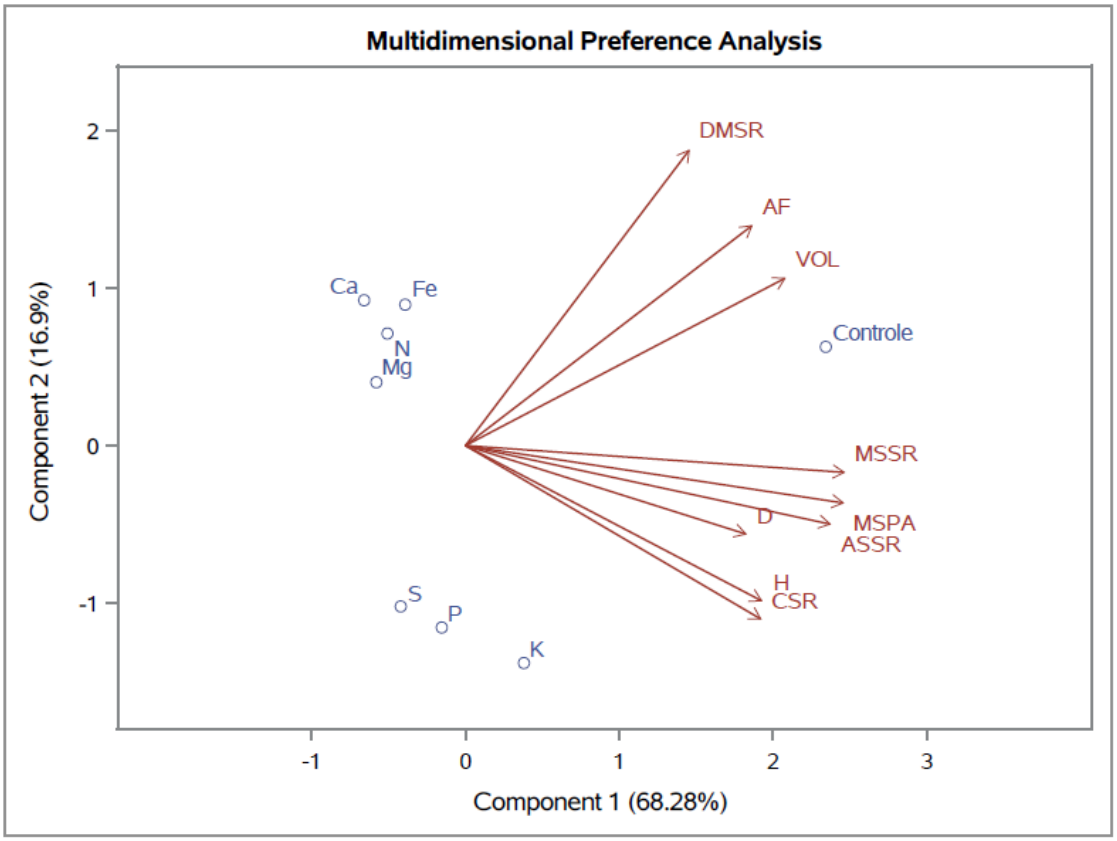

Figura 2. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis biométricas e destrutivas de plantas de cambucizeiro. Piracicaba, CENA, 2020.

De forma similar, a análise de agrupamento apresentou o tratamento controle isolado em um grupo, separado dos demais tratamentos com omissão de nutrientes (Figura 3). A

omissão dos nutrientes fósforo (-P) e potássio (-K) apresentaram-se em um grupo separado dos demais, indicando similaridade entre os efeitos da omissão destes nutrientes

A omissão de nitrogênio (-N) e cálcio (-Ca) também apresentaram muitas similaridades entre si, sendo os primeiros tratamentos a formarem um grupo. A omissão de ferro (-Fe), enxofre (-S) e magnésio (-Mg) se uniram ao mesmo grupo (Figura 3).

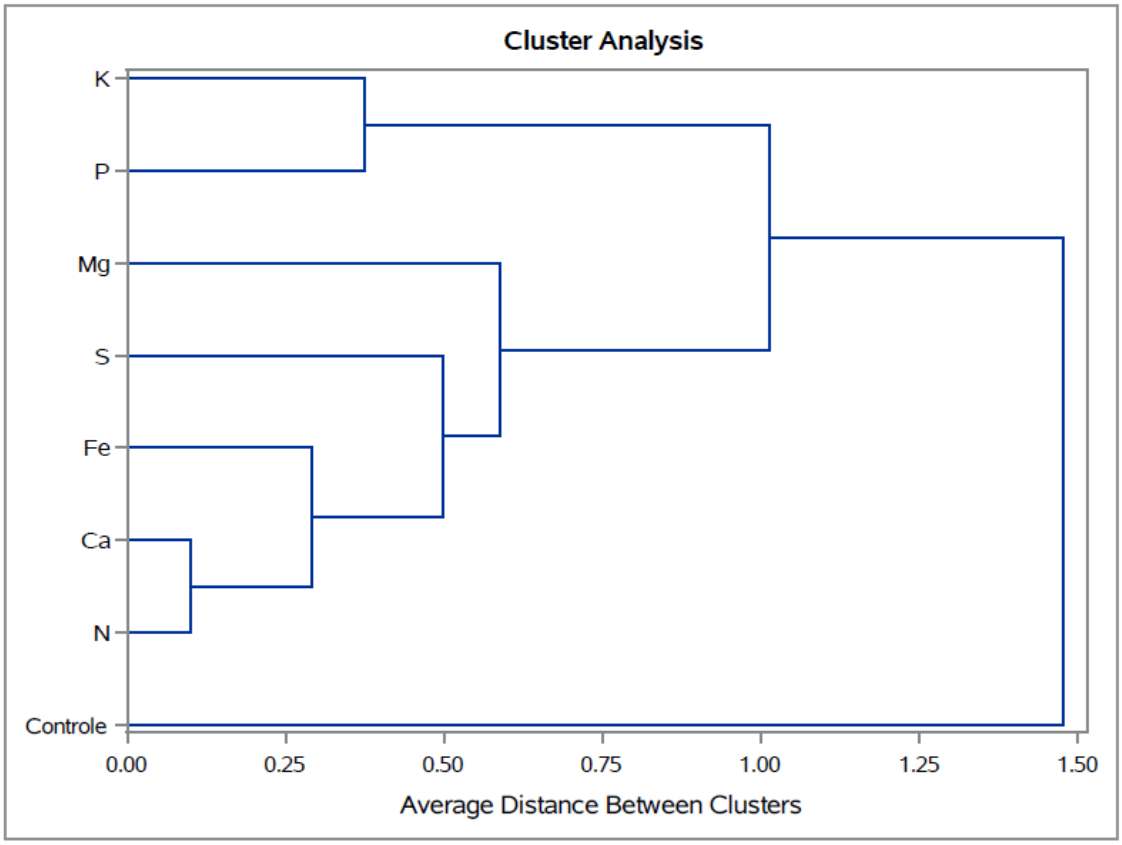

Figura 3. Análise de agrupamento e distância multivariada entre os tratamentos baseados nas variáveis biométricas e destrutivas de plantas de cambucizeiro. Piracicaba, CENA, 2020.

Tabela 7. Valores médios das variáveis referentes à parte aérea e ao sistema radicular das mudas de cambucizeiro, obtidas em avaliações destrutivas das plantas, realizadas aos 84 dias após a aplicação dos tratamentos. CENA/USP, 2020.

Solução	Sistema radicular					Parte aérea	
	Comprimento	Área Superficial[1]	Diâmetro	Volume	Matéria Seca	Matéria Seca	Área foliar
	cm	cm²	mm	cm^3	g	g	cm²
Controle	6.015,4	796,8	0,46	6.958,3	3,20	13,39	1.989,7
-N	3.356,7*	430,3 ns	0,41ns	5.326,7 ns	1,54*	4,08*	896,4*
-P	5.558,6ns	562,6 ns	0,36*	5.381,9 ns	1,89*	6,96*	498,6*
-K	5.258,9ns	617,5 ns	0,38*	4.782,9 ns	1,99*	8,15*	965,6*
-Ca	3.334,2*	478,2 ns	0,42ns	5.114,4 ns	1,29*	4,41*	879,7*
-Mg	2.447,4*	414,9 ns	0,40*	4.940,8 ns	1,40*	4,58*	1.018,9*
-S	3.752,5ns	524,3 ns	0,39*	4.800,3 ns	1,45*	5,23*	112,6*
-Fe	3.809,8ns	507,1 ns	0,41ns	5.551,4 ns	1,41*	4,74*	1.149,1*
Média	4165,79	540,44	0,40	5357,9	1,75	6,42	1072,7
P-valor	0,0039	0,11	0,001	0,55	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*Médias com letras diferentes, nas colunas, diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. **Dados transformados** segundo a função: [1]$f(x) = \sqrt{x}$. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

Tabela 8. Valores médios referentes à análise foliar de macro e micronutrientes em mudas de cambucizeiro ao fim do período experimental, em função da deficiência nutricional. CENA/USP, 2020.

Solução	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg						mg/kg				
Controle	27,0	3,56	29,3	9,5	3,7	2,5	52,7	36,0	355,0	35,7	28,5
-N	15,5*	5,81*	37,2ns	13,6*	5,1*	2,8ns	41,7ns	190,0*	650,0*	44,5ns	29,3ns
-P	18,0*	1,70*	34,5ns	9,2ns	3,6ns	2,8ns	46,6ns	43,3ns	725,0*	32,7ns	23,5ns
-K	24,9ns	4,25ns	12,7*	10,9ns	5,1*	2,9ns	44,5ns	15,5ns	282,5ns	37,0ns	26,7ns
-Ca	25,5ns	3,80ns	24,9ns	2,8*	3,5ns	2,4ns	20,7*	119,5*	287,5ns	22,3ns	23,7ns
-Mg	30,9ns	4,14ns	28,8ns	8,1ns	1,1*	2,5ns	29,5*	73,0*	375,0ns	41,3ns	26,2ns
-S	32,5ns	4,16ns	28,7ns	11,2ns	3,6ns	2,2ns	28,0*	83,0*	327,5ns	39,5ns	25,2ns
-Fe	37,0*	3,87ns	27,9ns	9,5ns	3,3ns	1,9ns	30,7*	98,5*	216,5ns	48,3ns	26,5ns
Média	26,42	3,91	28,02	9,38	3,6	2,5	36,8	75,2	402,4	37,8	26,3
P-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,05	0,2

*Médias com letras diferentes, nas colunas, diferem do controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância. Controle (solução nutritiva completa); -N (solução nutritiva com omissão de N); -P (solução nutritiva com omissão de P); -K (solução nutritiva com omissão de K); -Ca (solução nutritiva com omissão de Ca); -Mg (solução nutritiva com omissão de Mg); - S (solução nutritiva com omissão de S); -Fe (solução nutritiva com omissão de Fe).

3.4 Discussões

Um nutriente essencial é aquele que participa como constituinte estrutural de alguma molécula essencial para o metabolismo das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Dessa forma, todos os tratamentos utilizados neste trabalho focaram na omissão de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas de cambucizeiro.

O nitrogênio é um dos macroelementos essenciais responsável pela síntese de clorofila nas plantas. Baixos teores de clorofila estão diretamente correlacionados à baixa taxa fotossintética, e, portanto, redução de sistemas energéticos da planta, como a absorção de nutrientes e consequentemente redução do crescimento (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Efeitos da omissão de nitrogênio em outras espécies nativas do Brasil, como o camucamuzeiro (*Myrciaria dubia*) foram relatados por Viégas et al. (2004), que observaram redução da massa seca do caule de 48 para cerca de 7g/planta, similar ao observado neste trabalho.

A deficiência de N causa alterações na atividade das enzimas da fase bioquímica da fotossíntese, do fotossistema II, bem como das enzimas do metabolismo dos carboidratos e do nitrogênio, como a ribulose bifosfato carboxilase (Rubisco), o que leva à menor taxa fotossintética e consequente redução do crescimento das plantas (PAUL; DRISCOLL, 1997).

Foi possível verificar alterações visuais nas folhas jovens das plantas, as quais após duas semanas tornaram-se mais claras (L*, Tabela 5), mais opacas, finas e enrugadas (Figura 4A).

Com o passar do tempo, as folhas velhas tornaram-se mais amareladas (b*, Tabela 6) característica que progrediu até que todo o limbo foliar das folhas velhas tornou-se clorótico, correspondendo aos sintomas característicos da deficiência de nitrogênio (MALAVOLTA, 1980; EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O avanço do quadro sintomático levou a maior queda das folhas cloróticas e alteração da nervura central para uma coloração avermelhada, possivelmente devido a síntese de antocianinas pelo acúmulo de carboidratos que sob deficiência, não são empregados no metabolismo do nitrogênio (TAIZ; ZEIGER, 2013) (Figuras 4 e 5).

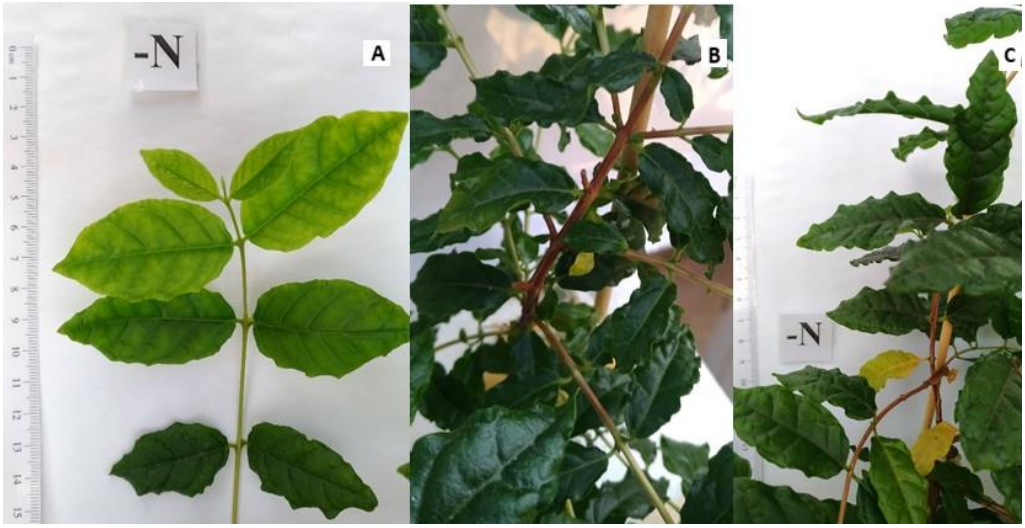

Figura 4. (A) Sintomas visuais da omissão de nitrogênio em folhas novas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) com duas semanas de omissão de nitrogênio. **(B)** Sintomas em pequenas folhas velhas com três semanas de omissão de nitrogênio. **(C)** Sintomas em folhas velhas com quatro semanas de omissão do nutriente. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

Segundo Hortensteiner e Feller (2002), a deficiência de N em folhas mais velhas é devida à proteólise das proteínas e à redistribuição dos aminoácidos, resultando no colapso dos cloroplastos e no decréscimo do teor de clorofila, o que resulta no amarelecimento das folhas.

Figura 5. Sintoma visual de deficiência de nitrogênio em comparação a solução controle (completa) em plântulas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum). CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

Concomitantemente foi possível observar alterações significativas nos teores de clorofila, tanto em folhas novas quanto nas velhas de cambucizeiro. O nitrogênio, assim como o magnésio são necessários à síntese da clorofila e, por ser parte integrante dessa molécula, está envolvido no processo de fotossíntese (LEAL et al., 2007).

O fósforo também desempenha função chave na fotossíntese além de atuar na formação inicial de plântulas e seu desenvolvimento radicular, o que garante aumento de eficiência do uso da água e absorção de outros nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN; BLOOM, 2006), além de estimular o aumento de fitomassa, embora alguns autores relatem efeitos não significativos da suplementação da adubação fosfatada (NIELSEN et al., 2001).

Neste trabalho, a omissão do fósforo (-P) reduziu altura e diâmetro do caule das plantas de cambucizeiro, bem como alterou os níveis de clorofila nas folhas velhas, área foliar, biomassa da parte aérea e sistema radicular e diâmetro médio do sistema radicular (Tabelas 2, 4, 7 e 8)

Esses dados corroboram com os encontrados em plantas de goiabeira sob omissão desse nutriente, onde foi verificado uma redução no crescimento dessas plantas, avaliado a partir dos dados da massa seca das plantas (SALVADOR, MOREIRA; MURAOKA, 1998). É importante salientar que a redução no crescimento causada pela omissão de fósforo é um sintoma característico para diversas espécies vegetais (FAQUIN, 2005; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O fósforo é elemento estrutural de nucleotídeos e fosfolipídeos, atua na síntese de RNA e DNA, bem como na transferência de energia por meio de ATP, PPi e NADPH (CUNHA et al., 2009). Com a omissão desse elemento, há uma redução na produção e transporte de energia, o que provoca um menor crescimento das plantas.

Segundo Schachtman et al. (1998), o fornecimento limitado de fósforo promove a mobilização do elemento de folhas mais velhas para as folhas jovens e as raízes, culminando na necrose das folhas, pela acelerada degradação das macromoléculas.

No caso da omissão de fósforo (-P) para plântulas de cambucizeiro, não foi observada necrose nas folhas velhas, apenas redução do tamanho das folhas e um elevado número de queda de folhas (Figura 6).

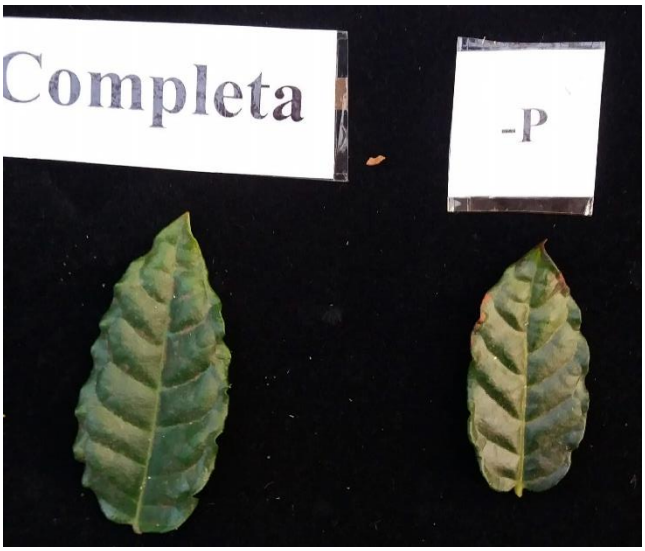

Figura 6. Sintoma visual de deficiência de fósforo em folha velha de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) em comparação com a solução controle. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A omissão do potássio (-K), de forma similar ao fósforo, reduziu significativamente a área foliar, massa seca da parte aérea, diâmetro médio, comprimento e massa seca do sistema radicular (Tabelas 7 e 8), mas não levou a diferenças significativas das outras variáveis.

Segundo Cunha et al. (2009), o potássio atua na manutenção do turgor da célula e na regulação osmótica-estomática, garantindo um regime hídrico favorável. Além disso, está envolvido na atividade de várias enzimas, na síntese de amido foliar, síntese de proteínas, no transporte e no armazenamento de carboidratos (ARMENGUARD et al., 2009).

Viégas et al. (2004) também observaram redução significativa da massa seca total de plantas de camucamuzeiro (*Myrciaria dubia* (H. B. K.) McVaugh), quando cultivada em sistema de omissão de potássio (Figura 7).

Figura 7. Sintoma visual de deficiência de potássio em folhas velhas de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) em comparação com a solução controle. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A omissão de cálcio (-Ca) resultou em efeitos similares ao da omissão de nitrogênio (-N) no comprimento e massa seca do sistema radicular, área foliar, massa seca da parte aérea, altura e diâmetro das plantas (Tabelas 2 e 7). Os efeitos sobre a clorofila e cor das folhas foram observados nas folhas novas e não nas folhas velhas como o nitrogênio.

O cálcio tem função essencial para o desenvolvimento de meristemas, sejam eles apicais ou dos ápices radiculares, estando presente principalmente nas pareces celulares. Além disso, possui função moduladora dos hormônios vegetais e regula diversos processos bioquímicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A deficiência deste nutriente manifesta-se inicialmente nos tecidos em formação, por ser um elemento pouco móvel nas plantas (WHITE; BROALEY, 2003), o que pode explicar os efeitos observados nas mudas de cambucizeiro.

A disponibilização de cálcio vem sendo reportada para a goiabeira como essencial para aumento de massa e crescimento radicular (PRADO; NATALE, 2004). Consequentemente um sistema radicular bem formado e estruturado garante melhor absorção de água e demais nutrientes às plantas, favorecendo seu crescimento. A limitação do crescimento do sistema radicular bem como o ganho de massa seca da raiz foi observado também por Oliveira et al. (2021) em plantas de *Campomanesia adamantium*.

A partir da terceira semana de omissão de cálcio, as plantas passaram a apresentar deformidades nas folhas mais jovens. Estas apresentavam-se encurvadas para baixo na medida em que o crescimento marginal não acompanhava o crescimento da nervura central das mesmas (Figura 8). Viégas et al. (2004) verificaram sintomas semelhantes em camucamuzeiro.

Esses sintomas em regiões jovens das plantas é descrita por Taiz e Zeiger (2013) como características da deficiência de cálcio. Em folhas totalmente expandidas também foi comum a ocorrência de margens necrosadas ou rompidas, sintomas ligados à importância desse elemento para a divisão e elongação celular (FAQUIN, 2005).

Figura 8. Sintoma visual de deficiência de cálcio em folhas velhas de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) em comparação com a solução controle. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A omissão de magnésio (-Mg) seguiu padrões similares ao do nitrogênio de cálcio para as variáveis destrutivas (Tabela 7). Seus efeitos também foram evidentes na clorofila em folhas novas e velhas (Tabelas 3 e 4) e na coloração das folhas novas (Tabela 5).

Sabe-se que o magnésio é um constituinte estrutural da clorofila, dessa forma, sua ausência afeta a síntese desse pigmento, levando a alterações na coloração de folhas velhas (FAQUIN, 2005; TAIZ; ZEIGER 2013), como foi observado neste trabalho (Figura 9).

Além disso, o magnésio atua como ativador das enzimas rubisco e fosfoenolpiruvato carboxilase, estando relacionado à conformação das proteínas e na transferência de energia através dos substratos ATP-Mg e PPi-Mg (SHAUL, 2002), portanto, sua ausência influencia diretamente o bom desenvolvimento das plantas e acúmulo de biomassa. O mesmo foi observado para camucamuzeiro, onde a ausência do nutriente reduziu em cerca de 64 e 67% a produção de matéria seca do caule e das raízes, respectivamente (THOMAZ et al., 2002).

No decorrer do período experimental, os sintomas visuais de deficiência dos outros nutrientes não ficaram bem definidos. Haviam plantas em que as folhas velhas obtiveram uma clorose generalizada, outras clorose parcial e outras com necrose na borda. Além disso, as folhas se desprendiam facilmente da planta.

Figura 9. Sintoma visual de deficiência de magnésio em folhas velhas de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum). CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A omissão de enxofre (-S) resultou desempenho similar ao da omissão de fósforo (-P) e potássio (-K) para algumas variáveis biométricas como o diâmetro médio e massa seca das raízes, área foliar e massa seca da parte aérea (Tabela 7). Também foram observados efeitos de sua omissão nos teores de clorofila das folhas novas e velhas (Tabelas 3 e 4), já para a

coloração das folhas, apenas as folhas novas apresentaram diferenças significativas quando comparadas ao controle (Tabela 5).

Os sintomas da deficiência de enxofre ocorrem nos tecidos mais jovens devido ao fato desse elemento ser mobilizado em sua maior parte na direção acrópeta pelo xilema (HAWKESFORD, 2000). O enxofre constitui diversas enzimas, aminoácidos, sulfatos, polissacarídeos e agentes redutores. Os sintomas de coloração arroxeada observada nas plantas são decorrentes do acúmulo de antocianinas causada pela deficiência do elemento (ZHAO et al., 1999; HAWKESFORD, 2000).

Oliveira et al. (2021) também não observaram influência significativa da omissão de enxofre no tamanho das plantas e comprimento do sistema radicular em comparação com o controle. Entretanto, os mesmos autores ressaltam o efeito da omissão de enxofre na redução significativa do volume do sistema radicular de *Campomanesia adamantium*, o que não foi observado para o cambucizeiro.

Viégas et al. (2004) ressaltaram que as plantas de camucamuzeiro que apresentaram deficiência de enxofre também apresentavam menores teores de clorofila em suas folhas, com uma coloração verde-pálida. Os valores de luminosidade (L*) mais elevados captados pelo colorímetro das folhas novas de plantas com omissão de enxofre (-S) podem ser facilmente visualizados (Figura 10). Além de pálida, a coloração tendia ao verde, verificado pelos valores de a*, corroborando os achados de Viégas et al. (2004) (Tabela 5).

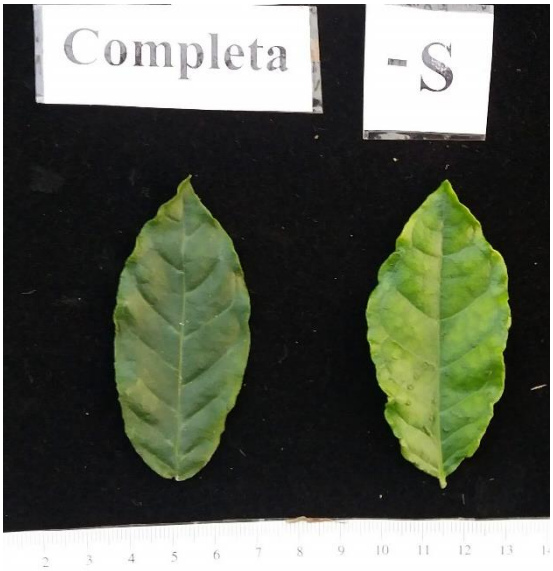

Figura 10. Sintoma visual de deficiência de enxofre em folhas novas de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) em comparação com a solução controle. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A redução significativa da altura e diâmetro das plantas de cambucizeiro, bem como os teores de clorofila e coloração das folhas novas e velhas de cambucizeiro no tratamento de omissão de ferro (-Fe) está diretamente associada ao fato deste nutriente atuar na ativação enzimática, participando de reações fundamentais de oxirredução em hemoproteínas (citocromos, catalase, peroxidase) até proteínas não-hémicas (enzimas redutase, nitrogenase e sulfato redutase) (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

O principal sintoma da deficiência deste nutriente é a clorose, associada à alterações nas moléculas de clorofila, devido à constituição dos grupamentos heme, essenciais à formação da clorofila (MALAVOLTA et al., 1997).

Segundo Neves et al. (2005) a manifestação desta deficiência em algodoeiro foi tardia, ocorrendo apenas quando as plantas estavam em estágio avançado de desenvolvimento, desta forma, o uso de medidores indiretos da clorofila não foram eficientes. No caso do cambucizeiro, o clorofilômetro foi capaz de detectar alterações nos níveis de clorofila na omissão de ferro (-Fe) aos 28 dias para as folhas novas (Tabela 3).

Salvador et al. (1999) ao avaliarem os sintomas visuais da deficiência de micronutrientes em mudas de goiabeira relacionaram o sintoma de nervuras foliares verdes com o restante do limbo amarelados, como efeito da queda nos níveis de clorofila nas folhas sob deficiência de ferro.

As plantas do tratamento com omissão de ferro passaram a apresentar folhas novas mais claras que as demais entre as nervuras a partir de 20 dias da omissão do nutriente. Os sintomas progrediram até a observação de um reticulado fino resultante das nervuras verdes bastante proeminentes sob um fundo amarelado do restante do limbo foliar (Figura 11).

Tais sintomas estão de acordo com as características descritas na literatura para a deficiência de ferro (MALAVOLTA, 1980; FAQUIN, 2005; TAIZ e ZEIGER 2013). Epstein e Bloom (2006) também apontaram que a análise visual é suficiente para identificar com precisão a deficiência de ferro em muitas espécies cultivadas.

Figura 11. Sintoma visual de deficiência de ferro em folhas novas de plantas de cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg Landrum) em comparação com a solução controle. CENA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2020.

A omissão individual de cada nutriente leva a resultados diferentes uma vez que cada nutriente essencial tem uma função primária e específica no metabolismo das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Sendo assim, toda omissão garante perdas de alguma natureza para o desenvolvimento das plantas de cambucizeiro, fato facilmente observado pelos resultados da análise multivariada.

3.5 Conclusão

- Plantas de cambucizeiro quando submetidas à omissão individual dos macronutrientes e ferro apresentam perdas significativas de altura, diâmetro de caule, teor de clorofila, cor de folhas, bem como de biomassa da parte aérea e do sistema radicular;
- Ao final do período experimental de 84 dias de omissão de nutrientes, certifica-se os principais sintomas visuais:
    - -N: amarelecimento em folhas velhas;
    - -P: redução do crescimento;
    - -K: necrose de folhas velhas;
    - -Ca: deformação e necrose de folhas jovens e meristemas;
    - -Mg: sintomas não bem definidos;
    - -S: coloração verde clara de folhas novas;
    - -Fe: clorose interneval das folhas novas.

Referências

CORRÊA, M. C. M.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; PEREIRA, L.; BARBOSA, J. C. Resposta de mudas de goiabeira a doses e modos de aplicação de fertilizante fosfatado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 1, p. 164-169, 2003.

CUNHA, A. C. M.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 58, 2009.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas.** Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE), 2007.

DONADIO, L. C.; MÔRO, F.V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas Brasileiras.** Jaboticabal: Novos talentos, 288p., 2002.

DONADO-PESTANA, C. M.; BELCHIOR, T.; FESTUCCIA, W. T.; GENOVESE, M. I. Phenolic compounds from cambuci (Campomanesia phaea O. Berg) fruit attenuate glucose intolerance and adipose tissue inflammation induced by a high-fat, high-sucrose diet. **Food Research International**, v. 69, p. 170-178, 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e perspectivas.** Londrina. Editora planta, 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras, UFLA/FAEPE, 2005. 186p.

HORTENSTEINER, S.; FELLER, U. Nitrogen metabolism and remobilization during senescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, p. 927-937, 2002.

HAWKESFORD, M. J. Plant response to sulphur deficiency and the genetic manipulation of sulphate transporters to improve S-utilization efficiency. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 131-138, 2000.

HOAGLAND, D. R., ARNON, D. I. 1950. **The water culture method for growing plants without soils.** California Agricultural Experimental Station, Berkeley, USA. 347p.

KONICA MINOLTA. **Comunicação precisa da cor.** Sakai; 1998.

LANDRUM L.R.; KAWASAKI, M.L. A Rare and Potentially Economic Fruit of Brazil: Cambuci, Campomanesia Phaea (Myrtaceae). **Economic Botany**, vol. 51, no. 4, 1997a, pp. 403–405.

LEAL, R. M.; MOREIRA, R.; NATALE, W.; PRADO, R.M.; ZACCARO, R.P. Adubação nitrogenada na implantação e na formação de pomares de caramboleira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1111-1119, 2007.

LEÃO, M. M. **Características do óleo essencial extraído das folhas de Campomanesia phaea (O. Berg.) Landrum (cambuci) obtido em duas microrregiões da Mata Atlântica.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MALAVOLTA, E. 1980. **Elementos de nutrição mineral das plantas.** Ceres, São Paulo, Brasil. 251p.

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

NATALE, W. **Resposta da goiabeira à adubação fosfatada.** 1999. 132 p. Tese de Livre-Docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 1999.

NATALE, W.; PRADO R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007.

NIELSEN, K.L.; ESHEL, A.; LYNCH, J.P. The effect of P availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p.329-339, 2001.

OLIVEIRA, D. G.; CARMO, G. C.; AJALLA, A. C. A. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento inicial de mudas de *Campomanesia adamantiun* (Cambess.) O. *In: Congresso técnico-científico da Engenharia e da Agronomia.* Setembro, 2021. CONFEA, ISSN 2358117-4, Ano 7, Volume 1, 2021.

PAUL, M.J.; DRISCOLL, S.P. Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signaling nitrogen deficiency through source sink-imbalance. **Plant Cell and Environment**, Malden, v. 20, p. 110-116, 1997.

PRADO, R. M; NATALE, W.; SILVA, J. A. A. Liming and quality of guava fruit cultivated in Brasil. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 6, p. 1-102, 2005.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. 2008. Editora Unesp, São Paulo, Brasil. 407p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.

RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic Fruits Reference Guide**. Elsevier. 488 p. 2018.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 33, n. 10, p. 1623-1631, 1998.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Sintomas visuais de deficiência de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília v. 34, n. 9, p. 1655-1662, 1999.

SANTORO, M. B. **Multiplicação do cambucizeiro (*Campomanesia phaea* O. Berg. Landrum), espécie nativa da Mata Atlântica**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

SARRUGE J. R., 1970. **Práticas de nutrição e adubação das plantas cultivadas** (mimeografado). Depto. De Química ESALQ, USP. Piracicaba, SP.

SHAUL, O. **Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg**. Biometals, London, v. 25, p. 309 -323, 2002.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 116, p. 447-453, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MAFFEI, M. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição. Porto Alegre, Artmed, 2013. 918p.

THOMAZ, M. A. A., VIEGAS, I., SILVA, J. F., CONCEIÇÃO, H. E. O. (2002). **Efeito da omissão de macronutrientes e do micronutriente boro no crescimento, sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camu camu**. *In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém, PA. Anais. Belém: SBF, 2002. 4 f..

TOKAIRIN, T. O. **Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica**. 2017. 134p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

VIEGAS, I. J. M.; THOMAZ, M. A. A.; SILVA, J. F.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; NAIFF, A. P. M. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 315-319, Aug. 2004.

WHITE, J. E.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, London, v.92, p. 487-511, 2003.