

OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Paratecoma peroba*

GIOVANNA CAMPOS MAMEDE WEISS DE CARVALHO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2024

OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Paratecoma peroba*

GIOVANNA CAMPOS MAMEDE WEISS DE CARVALHO

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof.^a Deborah Guerra Barroso

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2024

OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Paratecoma peroba*

GIOVANNA CAMPOS MAMEDE WEISS DE CARVALHO

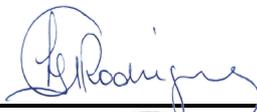
"Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal"

Aprovada em 19 março de 2024

Comissão Examinadora:



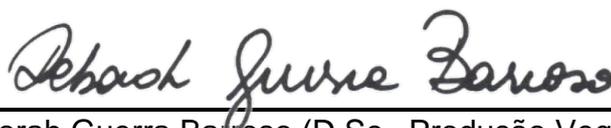
Prof.^a Elzimar de Oliveira Gonçalves (D.Sc., Ciência Florestal) - UFES



Prof.^a Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Prof.^a Mara de Menezes de Assis Gomes (D.Sc., Fisiologia Vegetal) - UENF



Prof.^a Deborah Guerra Barroso (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientadora)

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

C331 Carvalho, Giovanna Campos Mamede Weiss de.

Omissão de nutrientes em *Paratecoma peroba* / Giovanna Campos Mamede Weiss de Carvalho. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

85 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.

Orientadora: Deborah Guerra Barroso.

Coorientadora: Luciana Aparecida Rodrigues.

1. Peroba do campo. 2. Mata Atlântica. 3. espécie nativa. 4. deficiência nutricional. 5. fisiologia. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

“...Só percebi depois da morte que a vida foi uma oportunidade. E a dor que pensei haver tomado conta de toda minha vida foi só uma pequena parte. Um dia claro. Um dia chuvoso. Um dia de vento. Aprendi que a vida é feita desses dias diferentes. E que não havia problema errar. Bastava eu continuar...”

Death's game

Escrito por Lee Won Sik e ilustrado por Ggul-chan

Adaptado por Ha Byung Hoon

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e a Meishu-sama, pela conquista e por todas as bênçãos concedidas durante esses anos;

Aos meus familiares, pela força e incentivo, e por terem me ajudado em tudo, principalmente nos momentos mais difíceis. Um agradecimento especial aos meus parentes que não se encontram mais em vida, em especial meus avós Magdalena e Antônio;

Aos meus pais Joaquim e Fátima e à minha tia Marialva, pelo apoio e motivação, sempre me ajudando a vencer todos os obstáculos impostos;

À minha irmã Carmella, a qual tem minha eterna gratidão e carinho pelo incentivo, apoio emocional, paciência, compreensão e amizade. E, por sempre me apoiar em tudo nesta vida;

À minha madrinha Elverida, à minha irmã Flávia, aos meus primos e a meu amigo Jacques Douglas pelo apoio e incentivo;

Às professoras Deborah Guerra Barroso e Luciana Aparecida Rodrigues por toda a ajuda, orientação e incentivo;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso;

A banca de defesa pela participação e sugestões, visando à melhoria do trabalho;

A CAPES, pela concessão da bolsa;

À minha amiga Pâmela, pela amizade, companheirismo, compreensão e paciência. Obrigada por permanecer sempre ao meu lado!

Às amigas: Renata, Maria Clara, Juliana e Rachel pela amizade e estímulo, por me proporcionarem momentos felizes e por compartilhá-los comigo. Agradeço pelas inúmeras conversas e risadas, e também pelo apoio nos momentos mais difíceis, sempre dispostas a ajudar e oferecer soluções;

Ao amigo João Gabriel, pela preocupação e apoio constantes a mim e à minha família. Seus conhecimentos e amizade foram essenciais para que eu conseguisse chegar até aqui;

Ao amigo David, pela amizade, paciência e ajuda nos experimentos e disciplinas. Pela companhia em congressos e viagens de campo, sempre oferecendo-me oportunidades de crescimento como profissional e pessoa. E, também pela convivência sempre muito agradável;

Aos amigos de laboratório: Geovana, Guilherme, Christian Ribeiro, José Gabriel, Detony, Rebeca, Christian Tarnowski, Jussara, Yara, Melissa, Rafael, Savyo e Juliana;

Aos alunos de graduação que auxiliaram na concretização deste trabalho: Nayana, Christian Ribeiro e José Gabriel;

Aos alunos da pós-graduação do laboratório de fisiologia vegetal que também auxiliaram na concretização deste trabalho;

Aos servidores da UENF;

A todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUÇÃO GERAL	01
REVISÃO DE LITERATURA	03
<i>Paratecoma peroba</i>	03
Omissão de nutrientes em espécies florestais.....	04
DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES E BORO EM <i>Paratecoma peroba</i>	15
ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE <i>Paratecoma peroba</i> SOB LIMITAÇÃO NUTRICIONAL.....	39
CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
APÊNDICE: DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES E BORO EM <i>Paratecoma peroba</i>	78

RESUMO

CARVALHO, Giovanna Campos Mamede Weiss de. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2024. Omissão de nutrientes em *Paratecoma peroba*. Orientadora: Prof.^a Deborah Guerra Barroso.

O sucesso de projetos de cunho florestal está atrelado não apenas à utilização de mudas de qualidade como, também, ao suprimento adequado de nutrientes às plantas no estágio inicial de crescimento após o plantio. Contudo, ainda existem lacunas no conhecimento da demanda por nutrientes e da expressão do déficit nutricional para diversas espécies florestais tropicais com potencial ambiental e econômico. Neste contexto, o presente estudo visou avaliar os efeitos da omissão de nutrientes no crescimento e nos parâmetros fotossintéticos de *Paratecoma peroba*, bem como caracterizar sintomas de deficiência visuais. Para isso, plantas foram conduzidas em vasos de 3,8 L sob omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, S e B por 180 dias. As plantas de *P. peroba* apresentaram sintomas de deficiência na seguinte ordem N>P=K=Mg>Ca>S, sem observação de sintomas de deficiência de B. O nitrogênio foi o nutriente suprimido que limitou o crescimento da parte aérea e do sistema radicular da espécie. As variáveis fisiológicas precedem as alterações morfológicas em plantas de *P. peroba* sob omissão de macronutrientes e boro. Reduções do NBI e o teor de clorofila em folhas velhas precedem os sintomas visuais de deficiência de N. Reduções do índice de intensidade de verde (SPAD), aumento de flavonoides e antocianinas e reduções do teor de clorofila em folhas novas precedem os sintomas visuais de deficiência de P, K, Ca, Mg e S. Assim, as variáveis fisiológicas obtidas pelos sensores portáteis (SPAD e DUALEX) podem ser utilizadas para prever o déficit nutricional com maior antecedência em relação a variáveis morfológicas (altura, diâmetro e no número de folhas) e a manifestação visual dos sintomas.

Palavras-chave: Peroba do campo, Mata Atlântica, espécie nativa, deficiência nutricional, fisiologia.

ABSTRACT

CARVALHO, Giovanna Campos Mamede Weiss de. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2024. Omission of nutrients in *Paratecoma peroba*. Advisor: Prof.^a Deborah Guerra Barroso.

The success of forestry projects is linked not only to the use of high-quality seedlings but also to the adequate supply of nutrients to plants during the early growth stage after planting. However, there are still gaps in the knowledge of nutrient demand and the expression of nutritional deficiencies for various tropical forest species with environmental and economic potential. In this context, the present study aimed to evaluate the effects of nutrient omission on the growth and photosynthetic parameters of *Paratecoma peroba* as well as to characterize visual deficiency symptoms. To achieve this, plants were grown in 3.8 L pots under individual omission of N, P, K, Ca, Mg, S, and B for 180 days. *P. peroba* plants exhibited deficiency symptoms in the following order: N > P = K = Mg > Ca > S, with no deficiency symptoms observed for B. Nitrogen was the most limiting nutrient for the growth of both the shoot and root system of the species. Physiological variables preceded morphological changes in *P. peroba* plants under macronutrient and boron omission. Reductions in the Nitrogen Balance Index (NBI) and chlorophyll content in old leaves preceded the visual symptoms of N deficiency. Reductions in the SPAD chlorophyll index, increases in flavonoids and anthocyanins, and decreases in chlorophyll content in young leaves preceded the visual symptoms of P, K, Ca, Mg, and S deficiency. Thus, physiological variables obtained using portable sensors (SPAD and DUALEX) can be used to predict nutritional deficiencies earlier than morphological variables (height, diameter, and leaf number) and the visual manifestation of symptoms.

Keywords: Peroba do campo, Atlantic Forest, native species, nutritional deficiency, physiology.

INTRODUÇÃO

O sucesso de plantios voltados para a recuperação de áreas degradadas, composição de reservas legais e áreas destinadas à compensação ambiental está intrinsecamente ligado não apenas à qualidade do solo e das mudas, como também à compreensão das necessidades nutricionais das espécies arbóreas a serem utilizadas.

Solos com baixa fertilidade resultam em desafios para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Assim, sempre deve-se optar por espécies que se adequem às condições específicas do local, favorecendo a sobrevivência das mudas plantadas, e também promovendo a diversidade biológica, a resiliência do ecossistema e acelerando o processo de recuperação, no caso de ambientes degradados.

O conhecimento das informações nutricionais, nas situações mencionadas, é fundamental para elaboração de estratégias de adubação no plantio (adubação de base) e no pós-plantio (adubação de cobertura e reposição), uma vez que ausência ou o suprimento inadequado de macro e micronutrientes podem ocasionar distúrbios, que se manifestam através de sintomas visuais característicos, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Fontes, 2016; Taiz et al., 2017).

Além dos sintomas característicos de deficiências nutricionais, tais como clorose, no caso do nitrogênio (N); coloração verde-escura, com tons arroxeados para o fósforo (P); necrose das margens das folhas para potássio (K), dentre outros, os efeitos dos distúrbios nutricionais podem ser verificados no metabolismo das plantas, como reduções na assimilação de CO₂, na transpiração, na condutância estomática, danos ao fotossistema II, dentre outros, com conseqüente redução no crescimento em altura e diâmetro e na produção de biomassa vegetal (Andrade, 2010; Santos, 2016; Nascimento et al., 2014; Andrade e Boaretto, 2019; Berghetti, 2020; Berghetti et al., 2020), uma vez que cada nutriente desempenha uma ou mais funções no metabolismo das plantas. Contudo, a demanda por nutrientes, assim como as respostas ao estresse nutricional, se diferencia entre e dentre as espécies (Sorreano, 2006).

Muitos pesquisadores têm conduzido estudos visando avaliar e descrever os sintomas de deficiência para espécies florestais nativas e exóticas, bem como os efeitos da deficiência nutricional sobre o crescimento das mesmas, como exemplo: *Acacia holosericea* (Sarcinelli et al., 2004); *Schizolobium amazonicum* (Marques et al., 2004); *Tectona grandis* (Barroso et al., 2005); *Swietenia Macrophylla* (Silva et al., 2007; Wallau et al., 2008); *Amburana acreana* (Vieira et al., 2011); *Toona ciliata* (Moretti et al., 2011); *Croton urucurana* (Sorreano et al. 2011); *Azadirachta indica* (Silva et al., 2011); *Enterolobium contortisiliquum* (Oliveira, 2012); *Hancornia speciosa* (Bessa et al., 2013); *Bombacopsis glabra* (Camacho et al., 2014); (Carlos et al., 2013); *Hymenaea courbaril* (Nascimento et al., 2014); *Caesalpinia echinata* (Valeri et al., 2014); *Ochroma pyramidale* (Maia et al, 2014); *Plathymentia reticulata* (Vieira et al., 2015); *Dipteryx alata* (Sousa et al., 2018); *Copaifera langsdorffii* (Hoffmam et al., 2019); *Pochota fendleri* (Aquino et al., 2019); *Cariniana estrellensis* (Andrade e Boaretto, 2019); *Leucaena leucocephala*, *Cordia trichotoma* e *Astronium graveolens* (Cunha et al., 2023).

Nestes estudos, também se encontram espécies da mesma família que *P. peroba*, família Bignoniaceae (Vieira et al., 2016; Silva e Schlidwein, 2018; Bittencourt et al., 2020). Mas, boa parte desses trabalhos se concentra em mudas, durante sua produção no viveiro, e na literatura não há trabalhos sobre nutrição mineral de *P. peroba*.

Diante disso, ao final deste trabalho objetiva responder a) os sintomas visuais da omissão de macronutrientes e boro na fase inicial de crescimento após plantio de *Paratecoma peroba* são distintos e identificáveis? b) quando e quais nutrientes em omissão afetam o crescimento em altura, diâmetro do caule, número e massa foliar de *Paratecoma peroba* após plantio? c) quando e quais nutrientes em omissão afetam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular de *Paratecoma peroba* após plantio? d) a ausência dos macronutrientes e boro por 180 dias afeta negativamente as funções fisiológicas de plantas de *Paratecoma peroba*? e e) quais variáveis podem ser recomendadas como indicadores de deficiência nutricional antes da manifestação visual dos sintomas em *Paratecoma peroba*?

REVISÃO DE LITERATURA

Paratecoma peroba

Paratecoma peroba, espécie arbórea pertencente à família Bignoniaceae, é conhecida popularmente como peroba do campo, peroba amarela, dentre outros. Quanto à sua distribuição, a espécie ocorre principalmente na região Sudeste nos estados de Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Flora do Brasil 2020), sendo classificada como secundária tardia (Villela et al., 2006; Abreu et al., 2014), corroborando com Paradizo et al. (2015), que verificaram que *P. peroba* se desenvolve melhor em ambientes com menor intensidade de luz. Suas árvores podem atingir até 40 metros de altura, com diâmetro variando de 40 a 80 cm (Lorenzi, 2000).

Além da utilização para fabricação de barris ou tonéis para o envelhecimento de cachaça (Santiago et al., 2016), sua madeira foi muito explorada para fabricação de móveis de luxo, revestimentos decorativos e para construção naval em geral (Lorenzi, 2000; Lins e Nascimento, 2010), por apresentar densidade em torno de $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$, ser moderadamente pesada, medianamente resistente e apresentar boa durabilidade (Lorenzi, 2000). Em consequência, a espécie continua inserida na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção na categoria “em perigo (EN)” (Brasil, 2022), estando praticamente extinta no Estado do Rio de Janeiro (CNCFlora, 2012).

Na literatura, não há trabalhos a respeito das exigências nutricionais de *P. peroba* que informam o teor e conteúdo de nutrientes, doses e fontes de adubos, demanda de nutrientes pós-plantio. Entretanto, Silva (2019) verificou sintomas característicos de deficiência de N e P em minicepas, mesmo após transplantio para recipiente de maior volume (sacos plásticos de polietileno com 26 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro) e fornecimento quinzenal de N, P e K, conforme recomendação de Gonçalves e Benedetti (2005). Também em minicepas, Reis (2019) verificou que a adubação potássica não influenciou a produtividade de miniestacas, porém aumentou a sobrevivência dos propágulos da espécie.

Todavia, existem alguns estudos sobre o tema com espécies arbóreas pertencentes à mesma família da *P. peroba*. Vieira et al. (2016), avaliando o crescimento inicial de mudas de *Tabebuia ochraceae*, espécie da mesma família,

sob omissão de macronutrientes, verificaram que, apesar da manifestação dos sintomas característicos da carência dos nutrientes, não foram observadas diferenças entre a altura, diâmetro de colo, biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular. Segundo os autores, a concentração dos nutrientes nas soluções (completa e com omissões) pode ter sido suficiente para manter o crescimento da espécie durante 90 dias decorridos do início dos tratamentos.

Silva e Schlindwein (2018), trabalhando com omissão de nutrientes em *Handroanthus impetiginosus*, em simulação de plantio, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico, verificaram que a ausência de correção da acidez do solo via aplicação de calcário e as omissões individuais de P e N foram os tratamentos que mais limitaram o crescimento das plantas.

Berghetti (2020), ao investigar as respostas morfológicas e fisiológicas de plantas de *Handroanthus heptaphyllus* submetidas à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, constatou que, para essa espécie, a adubação não resulta em efeitos significativos no crescimento das plantas imediatamente após o plantio. No entanto, observaram-se respostas positivas no aumento dos teores de N, P e K a partir do 12^o mês após o plantio. Essa elevação nas concentrações desses nutrientes contribuiu para o aumento dos pigmentos fotossintéticos, aprimorando a absorção de luz e a eficiência no processo fotoquímico. Além disso, o autor recomenda a aplicação parcelada de 260,0 kg ha⁻¹ de N, divididos em 35% da dose durante o plantio aplicada na cova, 32,5% três meses após a primeira aplicação e o restante no sexto mês após o plantio, e o uso de 190 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 72 kg ha⁻¹ de K₂O durante o plantio.

Omissão de nutrientes em espécies florestais

Os nutrientes requeridos em altas e baixas concentrações pelas plantas são divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo e Cl, Ni), respectivamente. O fornecimento inadequado desses nutrientes às espécies florestais nativas, pode se dar em função da baixa fertilidade do solo, e de erros de adubação ou de manejo do solo, decorrentes da ausência de informações acerca da exigência nutricional das mesmas. Desse modo, é importante conhecer o papel dos nutrientes nas plantas, os sintomas visuais, bem como os efeitos na

anatomia e fisiologia das plantas, precursores dos sintomas visuais, visando auxiliar no manejo nutricional das espécies.

Alguns estudos descrevem os sintomas de deficiência nutricional em espécies florestais nativas, mas poucos são os trabalhos que relatam a influência das deficiências nutricionais nos aspectos morfoanatômicos, nas respostas fisiológicas e na formação e crescimento de pelos radiculares das espécies florestais.

Cada nutriente desempenha uma ou mais funções nas plantas, desse modo sua omissão desencadeia uma série de alterações que comprometem o crescimento das plantas, bem como a organização e forma dos tecidos vegetais e, conseqüentemente, seu metabolismo fotossintético.

Assim, a visualização dos sintomas decorrentes dos distúrbios nutricionais pode ser considerada o último estágio de uma série de eventos. Iniciando, com alterações no metabolismo e nos aspectos morfoanatômicos, com posterior visualização nos diferentes órgãos das plantas, quando os mesmos já comprometem mais pronunciadamente o crescimento e a produtividade (Silveira et al., 2002).

Um resumo dos principais sintomas de deficiência nutricionais decorrentes da omissão de macronutrientes e do micronutriente boro observados em espécies florestais é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Principais sintomas de deficiência nutricionais decorrentes da omissão de macronutrientes e do micronutriente boro observados em espécies florestais.

Nutrientes	Sintomas
N	^{1;2;3;6;7;8;9} Clorose em folhas velhas; senescência precoce dos folíolos; ² redução drástica do crescimento; ^{2;3} paralisação de emissão de raízes novas; apodrecimento das raízes secundárias; ⁵ caule fino e folhas pequenas; coloração vermelho-pálido nas folhas novas.
P	² Encarquilhamento nas extremidades das folhas velhas; ^{2;6;9} clorose leve; ³ variação da coloração das folhas velhas entre verde escuro a tons menos fortes; ^{5;9} secamento das pontas das folhas velhas; manchas cloróticas irregulares verde-limão por todo o limbo; folhas jovens encarquilhadas com coloração amarelo acobreado; ⁶ necrose.
K	^{1;9} Clorose em folhas velhas; queda prematura das folhas; ² redução do crescimento; clorose internerval; ^{1;6} encarquilhamento e pontos necrosados nas folhas velhas; ^{4;5} manchas cloróticas que evoluíram para necroses nas proximidades marginais das folhas mais velhas; ⁵ folhas novas e velhas com tamanho reduzido; ⁸ folhas esbranquiçadas com nervura com coloração normal; ⁹ morte do ápice e consequente bifurcação.
Ca	^{1;2;6;9} Clorose em folhas velhas; senescência precoce dos folíolos; queda prematura das folhas; ^{1;2} redução drástica do crescimento; ^{1;6;9} encarquilhamento e necrose das folhas; morte da gema apical, paralisação de emissão de raízes novas e apodrecimento das raízes secundárias.
Mg	^{1;2;3;4} Clorose internerval das folhas mais velhas; ^{3;9} manchas foliares; ⁶ folhas velhas com pontos amarelados começando pelas bordas ou com pontos cloróticos por todo o limbo foliar; folhas novas esbranquiçadas com aspecto queimado na ponta; ⁹ enrugamento das bordas de folhas velhas; morte do ápice e consequente bifurcação.
S	^{1;9} Clorose nas folhas novas; leve encarquilhamento; ² redução no crescimento; ³ manchas foliares; ⁶ folhas novas necrosadas; ápice queimado; bifurcações com brotações necrosadas ou atrofiadas.
B	¹ Clorose nas folhas novas; morte do ápice caulinar; ramificação na extremidade e formação de folíolos filiformes de folhas novas; raízes mais grossas e curtas; ³ crestamento ou requeima; ^{3;4} internódios curtos; ⁹ morte do ápice e consequente bifurcação.

¹Andrade et al., 2012; ²Barroso et al., 2005; ³Camacho et al., 2014; ⁴Marques et al., 2004; ⁵Corcioli et al., 2014; ⁶Vieira et al., 2015; ⁷Vieira et al., 2011; ⁸Valeri et al., 2014; ⁹Vieira et al., 2016.

É possível concluir que para alguns nutrientes os sintomas se iniciam nas folhas mais velhas e, posteriormente, progridem para as mais novas. Isso ocorre, pois para alguns nutrientes, como o nitrogênio (N), por exemplo, quando seu suprimento é insuficiente, o mesmo é metabolizado e redistribuído no interior da planta via floema, na forma de aminoácidos (Malavolta et al., 1997; Faquin, 2005). Consequentemente, plantas deficientes em N apresentam amarelecimento ou clorose nas folhas velhas inicialmente. Além da clorose, resultante de alterações na síntese de clorofila, outras mudanças na coloração das folhas em plantas sob deficiência podem ser observadas.

Na deficiência de fósforo (P) é comum que as folhas velhas apresentem coloração arroxeada, a qual é decorrente do acúmulo de antocianina (Bariola et al., 1999).

A necrose nas margens das folhas, sintoma característico de deficiência de potássio (K) nas plantas, pode ser atribuída ao acúmulo de putrescina e aminoácidos básicos, causado pela redução na síntese proteica (Faquin, 2005).

Deformações observadas em órgãos vegetativos, como o encarquilhamento das folhas, estão atreladas à omissão de nutrientes relacionados a funções estruturais nas plantas como, por exemplo, a rigidez da parede celular, função relacionada aos macronutrientes Ca e B. Contudo, de acordo com Epstein e Bloom (2006), os sintomas resultantes da deficiência de um dado nutriente podem variar entre e dentre indivíduos de uma mesma espécie, além de diferir entre culturas.

Para verificação dos sintomas de deficiências nutricionais relatados, os trabalhos comumente utilizam a técnica do elemento faltante. Essa técnica consiste em avaliar o crescimento e os aspectos visuais das plantas submetidas a omissão de um nutriente em questão, e a um tratamento completo, no qual todos os nutrientes necessários são fornecidos, em condições de campo ou casa de vegetação (Moretti et al., 2011) via solução nutritiva ou adubação. No entanto, cada solução pode conter concentrações e fontes diferentes de nutrientes. Para isso, são realizados estudos que auxiliam quanto à escolha da solução ideal para as espécies.

Na Tabela 2 é possível observar algumas soluções nutritivas utilizadas em trabalhos com omissão de nutrientes para espécies florestais com destaque para as soluções de Bolle-Jones (1954), Hoagland e Arnon (1950) e Sarruge (1975). As

soluções citadas apresentam diferenças entre as concentrações de nutrientes, principalmente, entre K, Ca e Mg, que são maiores nas soluções de Hoagland e Arnon (1950) e Sarruge (1975). Em contrapartida, a solução de Bolle-Jones (1954) apresenta maiores concentrações de micronutrientes, excetuando-se o Fe, e vale ressaltar que a mesma apresenta maior relação Ca/Mg.

Tabela 2. Soluções utilizadas em trabalhos com omissão de nutrientes com espécies florestais.

<i>Acacia holosericea</i>	1	A	Dias et al. e Ruiz	Sarcinelli et al., 2004
<i>Azadirachta indica</i>	2	H	Sarruge	Silva et al., 2011
<i>Bombacopsis glabra</i>	5	A	Johnson et al.	Camacho et al., 2014
<i>Cariniana estrellensis</i>	2	H	Johnson et al.	Andrade e Boaretto, 2019
<i>Copaifera langsdorffii</i>	3,1	S	Sarruge adaptada	Hoffman et al., 2019
<i>E. contortisiliquum</i>	5,7	A	Sarruge	Oliveira, 2012
<i>Eucalyptus citriodora</i>	-	-	Sarruge	Maffeis et al., 200
<i>Guazuma ulmifolia</i>	5,7	A	Sarruge	Oliveira, 2012
<i>Hymenaea courbaril</i>	1	H	Hoagland e Arnon	Matheus et al., 2011
<i>Hymenaea courbaril L.</i>	9	A	Hoagland e Arnon	Nascimento et al., 2014
<i>Jatropha curcas</i>	8	H	Hoagland e Arnon	Maia et al., 2014
<i>Khaya anthotheca</i>	5,7	A	Sarruge	Vieira et al., 2014
<i>Khaya ivorensis</i>	4,8	A	Sarruge e Jacobson	Corcioli et al., 2014
<i>Khaya ivorensis</i>	3,8	A	Sarruge e Jacobson	Corcioli et al., 2016
<i>Moringa oleifera L.</i>	0,5	A	Hoagland e Arnon	Vieira et al., 2008
<i>Plathymenia reticulata</i>	0,1	A	Sarruge	Vieira et al., 2015
<i>Pochota fendleri</i>	2,5	A	Hoagland e Arnon	Aquino et al., 2019
<i>Schinus terebinthifolius</i>	2	H	Johnson et al.	Andrade et al., 2012
<i>Schizolobium amazonicum</i>	3	H	Bolles-Jones	Marques et al., 2004
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	H	Sarruge	Wallau et al., 2008
<i>Tabebuia ochraceae</i>	5,7	A	Sarruge	Vieira et al., 2016
<i>Tabebuia serratifolia</i>	4	H	Hoagland e Arnon	Bittencourt et al., 2020
<i>Tectona grandis</i>	-	H	Bolles-Jones	Barroso et al., 2005

V – Volume em litro; A – Areia lavada; H- Hidroponia; S – Substrato; Soluções: Bolle-Jones (1954); Dias et al. (1994) e Ruiz (1986); Hoagland e Arnon (1950); Jacobson (1951); Johnson et al. (1957); Sarruge (1975).

A solução proposta por Bolle-Jones (1954) destaca-se por apresentar fontes de N amoniacal e nítrica. O fornecimento das duas fontes é de grande importância, uma vez que algumas espécies tendem a absorver o nitrato mais rapidamente do que o amônio, enquanto outras atuam ao contrário. Além disso, para ser utilizado, o NO_3^- necessita ser reduzido, em um processo dependente de energia e mediado pelas enzimas redutase do nitrato e redutase do nitrito, enquanto o NH_4^+ dispensa essa etapa para ser assimilado (Bredemeier e Mundstock, 2000).

Soma-se a isso, o fato de que o suprimento de N em uma mistura balanceada de cátions tende a reduzir o rápido aumento no pH do meio quando o N é fornecido somente como nitrato. E, em pH neutro, a maioria das plantas cresce melhor se tiver acesso às duas fontes de N, pois a absorção e a assimilação das duas formas promovem o balanço cátion-ânion na planta (Taiz et al., 2017).

É possível notar na Tabela 3 que as espécies pertencentes às famílias Bignoniaceae (destacadas em negrito), Euphorbiaceae e Fabaceae apresentaram mais rapidamente os sintomas de deficiência nutricional após o início das omissões. Grande parte delas, é do estágio inicial da sucessão, com respostas mais rápidas frente à omissão de nutrientes, uma vez que estas espécies apresentam crescimento acelerado, demandando maior quantidade de nutrientes.

Vieira et al. (2017), trabalhando com *Schizolobium amazonicum* Herb. e três soluções nutritivas diferentes, verificaram que as mudas submetidas às soluções de Bolle-Jones (1954) foram as primeiras a apresentar sintomas de deficiências de N, aos 10 dias após o início dos tratamentos. De acordo com os autores, os sintomas podem aparecer mais rapidamente, podendo ser diferenciados ou mais acentuados, conforme solução nutritiva utilizada.

De acordo com Fontes (2016), para fazer o diagnóstico do estado nutricional da planta, é fundamental interpretar os resultados da análise nutricional, verificando se os valores da concentração dos nutrientes obtidos na amostra-problema estão abaixo, iguais ou superiores aos padrões publicados em tabelas ou verificados em plantas normais.

Dentre os órgãos da planta, as folhas comumente são empregadas para estas análises, em função da maior intensidade dos processos metabólicos, além de ser o local no qual os distúrbios nutricionais, em fase avançada, tornam-se mais evidentes.

Tabela 3. Aparecimento dos sintomas de deficiência nutricional em espécies florestais após o início dos tratamentos com omissão de nutrientes.

	Dias	Espécie	Família	Referência
N	10	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	30	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	30	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	30	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	36	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	Silva et al., 2011
	40	<i>Khaya ivorensis</i>	Meliaceae	Corcioli et al., 2014
	50	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Santos, 2016
	60	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
P	12	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	30	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	30	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	38	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	Silva et al., 2011
	40	<i>Khaya ivorensis</i>	Meliaceae	Corcioli et al., 2014
	45	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	45	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
K	12	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	30	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	30	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	40	<i>Khaya ivorensis</i>	Meliaceae	Corcioli et al., 2014
	45	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	60	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
	70	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Santos, 2016
Ca	15	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	30	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	30	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	36	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	Silva et al., 2011
	60	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	60	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
Mg	25	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	30	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	30	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	40	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
	45	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	Silva et al., 2011
	60	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
S	13	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	20	<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae	Vieira et al., 2015
	30	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Fabaceae	Oliveira, 2012
	30	<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	Vieira et al., 2016
	45	<i>Croton urucurana</i>	Euphorbiaceae	Sorreano et al., 2011
	60	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	Oliveira, 2012
B	13	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae	Marques et al., 2004
	40	<i>Hancornia speciosa</i>	Apocynaceae	Bessa et al., 2013
Macro	30	<i>Toona ciliata</i>	Meliaceae	Moretti et al., 2011
	60	<i>Acacia holosericea</i>	Fabaceae	Sarcinelli et al., 2004
	100	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae	Wallau et al., 2008
Micro	100	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae	Wallau et al., 2008

Assim, na Tabela 4, são apresentados os teores de nutrientes nas folhas, caules e raízes obtidos por diversos autores em estudos com omissão de nutrientes em espécies florestais nativas cultivadas em solução completa.

Tabela 4. Teor de nutrientes em espécies florestais nativas cultivadas em solução nutritiva completa conforme parte da planta (PP).

Espécie	PP	N	P	K	Ca	Mg	S	B
		-----g.kg ⁻¹ -----						
<i>Acacia holosericea</i> ¹ (Fabaceae)	FN	28,3	1,4	19,6	8,2	1,6	1,1	-
	FV	20,0	2,2	18,0	9,4	0,8	0,6	-
<i>Astronium graveolens</i> ⁴ (Anacardiaceae)	FN	19,6	4,5	15,9	12,6	2,5	3,1	41,0
	FV	17,7	2,6	13,5	32,2	4,6	2,8	74,5
	C	8,1	2,7	12,2	8,2	1,4	1,3	16,2
	R	16,8	2,64	16,8	5,3	1,2	2,2	29,9
<i>Croton urucurana</i> ² (Euphorbiaceae)	F	16,1	5,5	34,1	15,8	8,3	3,4	-
<i>Cariniana estrellensis</i> ^{3,12} (Lecythidaceae)	F	31,0	6,0	21,0	21,0	4,0	4,9	71,0
	C	20,0	7,0	20,0	15,0	4,6	3,6	35,0
	R	16,0	6,0	22,0	18,0	3,8	4,7	36,0
<i>Ceiba speciosa</i> ⁴ (Malvaceae)	FN	22,0	3,1	19,0	18,0	5,3	2,9	77,0
	FV	18,0	3,9	15,0	30,0	8,0	4,1	83,0
	C	10,0	4,4	12,0	8,0	1,7	5,6	24,0
	R	17,0	5,0	17,0	8,0	1,3	1,3	26,0
<i>Cecropia pachystachya</i> ⁴ (Urticaceae)	FN	15,0	2,8	16,0	14,0	2,9	2,4	54,0
	FV	10,0	2,4	5,0	25,0	2,7	1,0	68,0
	C	5,0	1,7	7,0	4,0	0,6	0,8	14,0
	Raiz	11,0	2,7	13,0	5,0	1,1	1,4	16,0
<i>Croton urucurana</i> ⁴ (Euphorbiaceae)	FN	31,0	8,2	36,0	16,0	9,0	3,5	65,0
	FV	16,0	5,6	34,0	30,0	8,3	2,4	104,0
	C	13,0	1,6	9,0	3,0	1,4	0,7	32,0
	R	16,0	1,8	20,0	3,0	3,5	2,1	26,0
<i>Guazuma ulmifolia</i> ⁴ (Malvaceae)	FN	19,0	4,7	15,0	29,0	8,6	3,9	90,0
	FV	18,0	5,9	13,0	46,0	12,2	4,0	134,0
	C	13,0	6,0	10,0	6,0	2,3	1,3	27,0
	R	24,0	5,7	24,0	7,0	4,1	5,7	45,0
<i>Plathymenia reticulata</i> ⁵ (Fabaceae)	PA	12,9	1,3	3,9	2,3	1,6	1,9	-
	R	7,8	1,5	1,6	3,1	1,5	1,5	-
<i>Schinus terebinthifolius</i> ⁶ (Anacardiaceae)	F	20,0	4,2	24	10	2,7	3,3	16,0
	C	6,0	2,9	9,0	2,1	0,8	0,6	9,0
<i>Handroanthus ochraceae</i> ⁷ (Bignoniaceae)	PA	20,5	19,8	7,9	5,0	4,5	2,8	-
	R	9,3	5,2	6,7	5,2	3,0	2,0	-
<i>Tapirira guianensis</i> ⁴ (Anacardiaceae)	FN	18,0	2,8	14,0	10,0	2,2	1,5	47,0
	FV	15,0	3,9	16,0	17,0	2,3	1,6	86,0
	C	9,0	3,1	13,0	9,0	1,4	1,4	19,0
	R	14,0	2,8	9,0	8,0	3,1	0,9	37,0

F – Folha; C- Caule; FN – Folha nova; FV – Folha velha; PA – Parte aérea; PP – Parte da Planta; R – Raiz.

Continuação da Tabela 4.

Espécie (Família)	PP	N	P	K	Ca	Mg	S	B
		-----g.kg ⁻¹ -----						
<i>Jatropha curcas</i> L. ⁸ (Euphorbiaceae)	PA	30,5	2,3	40,9	9,3	12,4	1,0	-
<i>Myracrodruon urundeuva</i> ⁹ (Anacardiaceae)	F	29,0	2,0	11,0	19,0	6,0	2,0	33,6
<i>Amburana acreana</i> ¹⁰ (Fabaceae)	PA	15,6	6,4	7,0	4,8	3,0	0,4	-
	R	8,5	4,3	4,7	4,7	7,0	1,5	-
<i>Paubrasilia echinata</i> ¹¹ (Fabaceae)	F	14,8	3,4	9,7	8,8	1,4	4,3	-

F – Folha; C- Caule; FN – Folha nova; FV – Folha velha; PA – Parte aérea; PP – Parte da Planta; R – Raiz. ¹Sarcinelli et al., 2004; ²Sorreano et al., 2011; ³Andrade e Boaretto, 2019; ⁴Sorreano, 2006; ⁵Vieira et al., 2015; ⁶Andrade et al., 2012; ⁷Vieira et al., 2016; ⁸Maia et al., 2014; ⁹Mendonça et al., 1999; ¹⁰Vieira et al., 2011; ¹¹Valeri et al., 2014; ¹²Andrade e Boaretto, 2019.

Os trabalhos que abordam os aspectos fisiológicos em espécies arbóreas sob omissão de nutrientes indicam que a ausência de macronutrientes e do B reduzem a taxa de assimilação de CO₂ e a transpiração das plantas (Andrade, 2010; Santos, 2016; Andrade e Boaretto, 2019), afetando, conseqüentemente, o crescimento (Freiberger et al., 2013; Nascimento et al., 2014; Smiderle et al., 2016) e a produtividade.

Isso ocorre em plantas sob omissão de N, pois este macronutriente participa de processos chave do metabolismo das plantas tais como a fotossíntese e respiração, uma vez que o N compõe aminoácidos, proteínas e enzimas, como a RuBisCo, proteínas do fotossistema e moléculas de clorofila (Bang et al., 2021).

Maior intensidade de verde verificado através de leituras realizadas com o SPAD, comumente, são encontrados em folhas de plantas não submetidas a algum tipo de estresse ambiental, por possuírem maior capacidade de síntese de clorofila (Reis et al., 2006). A intensidade de verde obtida pelo SPAD pode ser correlacionada com os teores relativos de clorofila e N, assim pode ser utilizado como método indireto na análise do N para diversas culturas (Fontes, 2016).

Devido à sua baixa disponibilidade em função da sua elevada capacidade de adsorção em solos com elevada acidez e alta saturação por alumínio (Al), o fósforo é um dos elementos mais limitantes à produção agrícola. Este nutriente está relacionado a todos os metabólitos envolvidos na aquisição, estocagem e utilização de energia, por participar da composição de açúcares fosfatados, adenosinas fosfatadas (AMP, ADP, ATP), em nucleotídeos e ácidos nucleicos (Epstein e Bloom, 2006). Logo, plantas sob a omissão de P têm o processo fotossintético comprometido. Principalmente, na fase de fosforilação, que consiste na geração de adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH) e adenosina-trifosfato (ATP), ambos constituídos por P, e no ciclo de Calvin-Benson, no qual seus produtos intermediários são compostos fosforilados, como a ribulose 1,5 bisfosfato (Rubisco) (Taiz et al., 2017).

As alterações fisiológicas causadas pela omissão de potássio (K) resultam de seu papel como ativador de enzimas, as quais estão, também, envolvidas na fotossíntese; de sua participação no transporte através da membrana; pela neutralização de ânions e por estar envolvido na manutenção do potencial osmótico e no mecanismo de abertura e fechamento estomático (Epstein e Bloom, 2006; Taiz et al., 2017). O comprometimento no mecanismo de abertura e fechamento estomático pode reduzir a transpiração pelo fechamento dos estômatos, interrompendo a entrada de CO₂, reduzindo assim a fotossíntese. Outras funções do K podem ser afetadas por sua ausência no meio, comprometendo o crescimento das plantas, como as relações hídricas e o transporte de açúcares (Kerbauy, 2004; Taiz et al., 2017).

O comprometimento no crescimento das plantas pela deficiência de cálcio (Ca) resulta de funções como: a manutenção da estabilidade da parede celular, por interligar cadeias pectínicas; manutenção da integridade da membrana plasmática; atuação na sinalização, no qual o Ca²⁺ atua como mensageiro secundário, iniciando as respostas das plantas aos estímulos ambientais, principalmente relacionados ao estresse (salinidade, hipóxia, ...). Ao se ligar, por exemplo, à proteína calmodulina, encontrada no citosol de células vegetais, liga-se a diferentes tipos de proteínas mensageiras secundárias de sinalização (Epstein e Bloom, 2006; Taiz et al., 2017).

O magnésio (Mg) faz parte da estrutura molecular da clorofila, juntamente com o N e outros elementos (Taiz et al., 2017). Também tem papel de ativador enzimático na respiração, na fotossíntese, como, por exemplo, nas enzimas envolvidas na transferência de energia via ATP e na ativação da Rubisco (Epstein e Bloom, 2006). Portanto, a deficiência deste macronutriente compromete a síntese de clorofila e a ativação de enzimas, limitando a fotossíntese.

A função do enxofre está atrelada à composição de aminoácidos (cistina, cisteína e metionina), de várias coenzimas e vitaminas, e assim, sua ausência pode levar ao comprometimento de algumas etapas do processo do metabolismo das plantas, como a rota glicolítica, a descarboxilação do piruvato e a formação do acetil coenzima A (Taiz et al., 2017). Além disso, o S participa no transporte fotossintético e respiratório de elétrons por meio de grupamentos ferro-enxofre (Epstein e Bloom, 2006).

O boro (B) possui funções relacionadas, principalmente, na biossíntese de lignina, na indução de raízes adventícias, no transporte de carboidratos, na manutenção da integridade de paredes celulares e membranas celulares (Malavolta, 2006; Epstein e Bloom, 2006). Desempenha funções também no alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos e respostas hormonais (Taiz et al., 2017). Em ambientes com déficit hídrico e solos com pouca matéria orgânica, o B pode ser limitante para o crescimento das plantas. Neste sentido, é crucial garantir o fornecimento constante deste micronutriente ao longo do ciclo, especialmente, devido à sua baixa adsorção no solo, tornando-o suscetível a perdas por lixiviação (Silveira et al., 2022; Mageste et al., 2022).

Em vista das funções estruturais desempenhadas, a deficiência de B resulta na redução do crescimento e pode afetar indiretamente a fotossíntese e a transpiração através da diminuição da área foliar, pela alteração dos compostos presentes na folha, além de afetar o funcionamento das membranas do cloroplasto (Andrade, 2010).

DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES E BORO EM *Paratecoma peroba*

Resumo

O presente estudo teve por objetivo descrever os sintomas de deficiência nutricional de mudas de *Paratecoma peroba*, após o transplante, sob omissão de macronutrientes e boro. Para isso, mudas produzidas por sementes, aos 8 meses de idade, foram transplantadas em vasos de 3,8 L, onde receberam solução nutritiva completa e com elemento faltante, conforme cada tratamento, por 180 dias. Durante este período, os sintomas de deficiência manifestados foram fotografados e descritos e as plantas tiveram a altura, o diâmetro e o número de folhas determinados. Aos 80 e 180 dias do início da omissão foram realizadas avaliações destrutivas para obtenção da área foliar, massa seca da parte aérea e do sistema radicular, bem como do comprimento e diâmetro do sistema radicular. Plantas de *P. peroba* apresentaram sintomas visuais de deficiência na seguinte ordem: N>P=K=Mg>Ca>S, não sendo observados sintomas característicos de deficiência de B. O nitrogênio foi o único nutriente em supressão que limitou o crescimento da parte aérea e do sistema radicular da espécie.

Palavras-chave: Espécie arbórea nativa; peroba do campo; omissão de nutrientes; nutrição mineral; deficiência nutricional.

Introdução

Paratecoma peroba, também conhecida como peroba do campo, é uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica. Trata-se de uma espécie secundária inicial ou tardia, podendo chegar a 40 m de altura e com diâmetro variando entre 40 e 80 cm (Lorenzi, 2009; Flora do Brasil, 2020). Além de seu papel ecológico é altamente valorizada na indústria madeireira, pois sua madeira é bastante resistente e durável, sendo utilizada na fabricação de móveis de luxo e em obras de carpintaria e marcenaria. Em razão de sua exploração intensa para fins comerciais, a espécie se tornou e permanece ameaçada de extinção, principalmente, no estado do Rio de

Janeiro (Lorenzi, 2009; Lins e Nascimento, 2010; Martinelli e Moraes, 2013; Conceição, 2021).

Uma das principais informações técnicas no âmbito de produção e, posteriormente, no plantio de mudas é a necessidade de macro e micronutrientes, os quais estão relacionados ao desempenho das principais funções metabólicas nas plantas (Cunha et al., 2023). Diante disso, o sucesso na utilização de espécies florestais nativas, sobretudo em projetos de restauração ambiental, está intrinsecamente ligado à compreensão de suas necessidades nutricionais. Essas informações além de propiciarem a produção de mudas de qualidade, aumentam a capacidade de sobrevivência, crescimento e desenvolvimento dessas após o plantio no campo, uma vez que ausência ou o suprimento inadequado de nutrientes podem ocasionar distúrbios, que se manifestam através de sintomas característicos, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Fontes, 2016; Taiz et al., 2017). Contudo, a demanda por nutrientes, assim como as respostas ao estresse nutricional, se diferencia entre as espécies e entre plantas de uma mesma espécie (Sorreano, 2006).

Para investigar como a falta de um nutriente afeta as plantas em termos de sintomas de deficiência, crescimento, desenvolvimento, produção de biomassa, teor de nutrientes nas plantas, entre outros parâmetros, um dos métodos consiste na omissão de nutrientes. Na literatura é possível encontrar estudos que descrevem os sintomas de deficiência nutricional e avaliam os efeitos da supressão de nutrientes em diferentes espécies arbóreas nativas (Sorreano et al., 2006; Wallau et al., 2008; Vieira et al., 2011; Camacho et al., 2014; Nascimento et al., 2014; Vieira et al., 2016; Sousa et al., 2018; Silva e Schindwein, 2018; Aquino et al., 2019; Hoffmam et al., 2019; Bittencourt et al., 2020; Cunha et al., 2023). Mas, grande parte dos trabalhos realizados se concentra na fase de muda, ou seja, em sua fase inicial de crescimento no viveiro.

Em função da carência de informações nutricionais sobre *Paratecoma peroba* e da ausência de estudos referentes à omissão de nutrientes para a espécie, este trabalho objetivou avaliar como a supressão de macronutrientes e boro no plantio afeta o crescimento inicial da espécie.

Materiais e métodos

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação, na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. Durante o experimento, a temperatura e a umidade do ar foram monitoradas através do Datalogger (modelo AK 174 – AKSO) com as médias mensais representadas na figura 1.

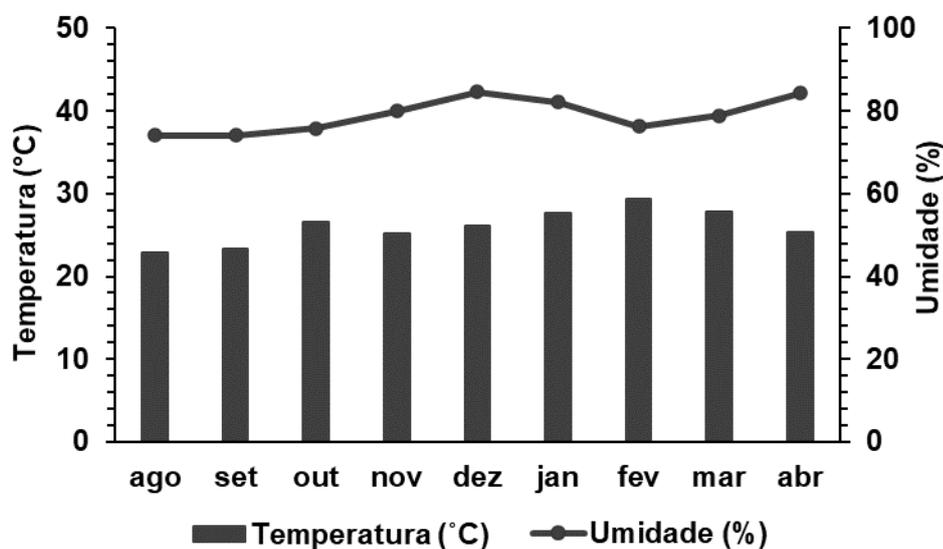


Figura 1. Temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar de agosto/2022 a abril/2023 da casa de vegetação onde foi realizado o experimento de omissão de nutrientes em plantas de *Paratecoma peroba*.

A semeadura de *P. peroba* foi realizada em bandejas plásticas contendo areia e quando as plântulas apresentaram dois pares de folhas definitivas foram transferidas para tubetes de 280 cm³ preenchidos com substrato florestal comercial a base de casca de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa, vermiculita com adubação inicial com NPK e micronutrientes, acrescido de adubo de liberação lenta (Osmocote Plus© 14-09-12, 3 meses de liberação) na concentração de 8 g kg⁻¹ de substrato, conforme recomendação do fabricante. Semanalmente, as mudas receberam 20 mL de solução completa Bolle-Jones (1954) preparada sem o micronutriente boro (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva (ml L⁻¹) de Bolle-Jones (1954).

SE	C	SC	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B
Na ₂ HPO ₄	1	1	1	-	1	1	1	1	1
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1	2	-	2	2	-	2	2	2
KNO ₃	1	1	-	1	-	1	3	1	1
K ₂ SO ₄	0,5	4	4	4	-	4	6	-	4
MgSO ₄	0,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-	-	2,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1	1,5	-	1,5	2	2,5	2	-	1,5
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,01	-	200	-	-	-	-	-	-
K ₂ HPO ₄	1	-	1	-	-	-	1	1	-
Mg(NO ₃) ₂	0,5	-	-	-	-	-	-	2,5	-
NaNO ₃	1	-	-	1	-	-	-	-	-
SOL.A*	-	1	1	1	1	1	1	1	a-B
Fe-EDTA**	-	1	1	1	1	1	1	1	1

C – Concentração molar; SC – Solução Completa; SE – Solução estoque. *Composição da solução A: 141,2 mg de H₃BO₃; 1.750 g de MnSO₄; 250 mg de CuSO₄·5H₂O; 43,1 mg de MoO₃; 287 mg de ZnSO₄·7H₂O, por litro de solução. **Composição da solução Fe-EDTA: 26,1 g de Na₂ – EDTA; 89,2 g de NaOH N e 24g de FeSO₄·7H₂O, por litro de solução.

Aos 8 meses após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos plásticos de 3,8 L (17x25x11 cm³) preenchidos com areia média cujo pH e a condutividade elétrica, no momento do transplante, eram de 6,1 e 0,02 mS cm⁻¹, respectivamente, na Tabela 2, onde a situação do solo é apresentada conforme Martinez et al. (1999).

Tabela 2. Atributos da análise química da areia utilizada como substrato.

Atributos	RE	Situação	Atributos	RE	Situação
pH (H ₂ O)	6,10	Acidez fraca	m (%)	0,00	Muito baixo
P (mg dm ⁻³)	7,00	Baixo	V (%)	70,00	Bom
K (mmol _c dm ⁻³)	0,50	Muito baixo	ISNa (%)	5,00	-
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3,70	Muito baixo	C (g dm ⁻³)	0,60	Muito baixo
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,10	Muito baixo	MO (g dm ⁻³)	1,03	Muito baixo
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,00	Muito baixo	Fe (mg dm ⁻³)	92,63	Muito bom
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	2,00	Muito baixo	Cu (mg dm ⁻³)	0,13	Muito baixo
SB (mmol _c dm ⁻³)	4,60	Muito baixo	Zn (mg dm ⁻³)	1,65	Medio
T (mmol _c dm ⁻³)	6,60	Muito baixo	Mn (mg dm ⁻³)	26,21	Muito bom
S-SO ₄ (mg dm ⁻³)	8,00	-	B (mg dm ⁻³)	0,28	Baixo

CTC – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; ISNa - Índice de Saturação de Sódio; MO – Matéria Orgânica; m – Índice de Saturação de Alumínio; RE – Resultado; SB – Soma de Bases Trocáveis; V – Índice de Saturação de Bases; P – Na – K – Fe – Zn – Mn – Cu – Extrator Mehlich; Ca - Mg – Al - Extrator KCL 1 mol L⁻¹; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; B - Extrator água quente; S – Extrator Fosfato de Monocalcio.

Durante 30 dias as mudas receberam semanalmente 200 mL de solução nutritiva completa de Bolle-Jones (1954), com meia força, preparada sem boro (Tabela 1). A irrigação foi manual, com água deionizada ($\leq 4 \mu\text{S/cm}$), mantendo o substrato sempre próximo à capacidade de campo. Após este período, iniciou-se a

omissão individual de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B) havendo um tratamento controle (C), contendo todos os macros e micronutrientes, via solução de Bolle-Jones (1954), preparada conforme cada tratamento e com meia força dos micronutrientes. Foram aplicados 50 mL de solução nutritiva, conforme cada tratamento, em dias alternados, sendo que, a partir dos 91 dias até os 180 dias da omissão, em função do crescimento e maior demanda das plantas, passaram a ser aplicados 100 mL de solução por planta.

Aos 25, 65, 105, 140 e 180 dias as mudas tiveram a altura (H) e o diâmetro a altura do colo (DAC) medidos com auxílio de régua graduada e paquímetro digital, respectivamente, sendo também realizada a contagem do número de folhas completamente expandidas (NF). Os sintomas de deficiência nutricional foram observados nestes períodos e fotografados quando pertinentes. Aos 80 e 180 dias da omissão de nutrientes (DAO), foram selecionadas uma e duas plantas por parcela, respectivamente, para as análises destrutivas. A área foliar (AF) foi obtida com auxílio de um medidor eletrônico de bancada (LI-COR modelo LI-3000).

Para determinação da massa seca, cada planta foi separada em caule, folhas e raízes. As folhas e caules foram alocados, separadamente, em embalagem de papel, para secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65°C, por 72 h. Com o material seco, realizou-se a pesagem em balança analítica, para obtenção da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e da parte aérea (MSPA = MSF + MSC).

O sistema radicular foi lavado em água deionizada, para retirada do substrato, e após a separação das raízes secundárias da raiz principal foram obtidos o comprimento e o diâmetro da raiz principal (CRP e DRP), medidos com auxílio de régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. Por meio do software Winrhizo foram obtidos o comprimento total, o diâmetro e o volume das raízes secundárias (CTRS, DRS e VRS). Posteriormente, para obtenção da massa seca da raiz principal (MSRP) e da massa seca das raízes secundárias (MSRS), os materiais também foram postos para secar, conforme descrito para a parte aérea. E, de posse desses valores foram obtidos a massa seca do sistema radicular (MSSR = MSRP + MSRS) e a relação raiz parte aérea (R/PA = MSSR/MSPA).

Os tratamentos foram dispostos em quatro blocos, com quatro plantas por parcela, totalizando 128 vasos. Como as mudas apresentaram grande variabilidade, principalmente, para a variável altura, esta foi utilizada para blocagem. Desta forma, as plantas dos blocos 1, 2, 3 e 4 apresentaram, inicialmente, as seguintes alturas médias: 14,7 cm, 19,2 cm, 14,4 cm e 11,0 cm, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), sob esquema fatorial, tendo como fatores os tratamentos, composto pelos nutrientes em omissão mais o controle (SC, -N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S e -B) e o tempo, cujos níveis foram diferenciados conforme grupo de variáveis analisadas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software R versão 3.6.3 e o pacote ExpDes.pt, sendo que os dados obtidos por contagem foram transformados em $\sqrt{x+1}$. Os sintomas visuais foram fotografados e descritos.

Resultados

Variáveis biométricas

Ao longo do período de omissão apenas a ausência de N causou limitações severas ao crescimento das plantas de *P. peroba*, sem alteração em altura no período avaliado, com redução do número de folhas a partir dos 140 dias da omissão (DAO) e com estabilização do diâmetro a partir dos 105 DAO. A redução do incremento em altura das mudas com omissão de N, com relação aos demais tratamentos, inicia-se aos 105 DAO (Tabela 3).

Excetuando-se a omissão de N, ao longo do período de amostragem das variáveis biométricas, em alguns períodos, houve diferença entre os tratamentos com omissões individuais de P, K, Ca, Mg, S e B, mas os tratamentos não diferiram do controle, exceto aos 180 DAO, em que as plantas sem P apresentaram maior diâmetro em relação às do controle, omissão de N e de Ca (Tabela 3).

Tabela 3. Altura, diâmetro e número de folhas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

TEMPO	Nutrientes em omissão							
	Altura (cm)							
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B
25 DAO	24,4 aC	24,0 aA	26,2 aC	23,5 aC	24,9 aC	24,8 aC	24,2 aC	25,9 aC
65 DAO	32,1 aC	25,9 aA	37,3 aC	32,1 aC	34,2 aC	35,1 aC	33,1 aC	35,9 aC
105 DAO	52,1 aB	30,5 bA	56,8 aB	46,3 aB	53,1 aB	56,8 aB	52,9 aB	58,6 aB
140 DAO	66,3 abA	32,6 cA	73,0 abA	60,1 bA	61,6 abAB	74,5 aA	69,3 abA	71,5 abA
180 DAO	71,5 abA	32,5 cA	77,6 abA	64,9 bA	67,7 abA	80,1 aA	73,9 abA	75,2 abA
CV = 12,7%								
Diâmetro (mm)								
25 DAO	8,38 aD	9,20 aB	9,23 aD	8,56 aD	8,80 aC	8,24 aD	8,01 aD	9,31 aD
65 DAO	10,23 abC	9,48 cAB	11,43 aC	10,64 abcC	9,99 abcC	10,55 abcC	9,92 bcC	10,98 abC
105 DAO	12,55 abB	10,66 cA	13,89 aB	13,00 abB	11,91 bcB	13,35 abB	12,59 abB	13,23 abB
140 DAO	13,14 abB	10,67 cA	14,47 aB	13,50 abB	12,04 bcB	13,59 aB	12,98 abB	13,73 aB
180 DAO	15,20 bcA	10,71 dA	17,08 aA	15,56 bA	13,72 cA	15,42 bA	15,25 bA	15,54 bA
CV = 5,75%								
Número de Folhas								
25 DAO	21 aC	21 aA	22 aC	20 aC	21 aB	22 aD	19 aD	23 aC
65 DAO	23 aC	20 aA	27 aC	23 aC	24 aB	26 aDC	24 aCD	25 aC
105 DAO	34 aB	17 bAB	39 aB	29 aBC	34 aA	35 aBC	34 aBC	36 aB
140 DAO	43 abAB	11 cAB	49 aB	37 bAB	43 abA	45 abAB	43 abAB	48 aA
180 DAO	44 aA	9 bB	50 aA	39 aA	44 aA	47 aA	44 aA	50 aA
CV = 15,82%								

CV – Coeficiente de variação; DAO – Dias após a omissão de nutrientes; SC – Solução completa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Excetuando-se a omissão de N, o mesmo comportamento foi observado na avaliação destrutiva aos 80 DAO para área foliar (AF), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento, diâmetro e massa seca da raiz principal (CRP, DRP e MSRP), comprimento total das raízes secundárias (CTRS) e massa seca do sistema radicular (MSSR) (Tabela 4).

Não houve diferença na massa seca do caule (MSC), massa seca, diâmetro e volume de raízes secundárias (MSRS, DRS e VRS) entre os tratamentos e o controle. Mas, neste mesmo período, plantas sob omissão de N diferiram do controle com relação à produção de MSF e MSPA, apresentando menor incorporação de biomassa na parte aérea (Tabela 4).

Tabela 4. Valor médio da área foliar (AF), comprimento da raiz principal (CRP), comprimento das raízes secundárias (CTRS), diâmetro da raiz principal (DRP), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz principal (MSRP), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do sistema radicular (MSSR) de plantas de *Paratecoma peroba* aos 80 dias após o início da omissão de macronutrientes e boro.

T	AF (dm ²)		MSF (g)		MSPA (g)		CTRS (cm)	
SC	14,14	ab	7,39	ab	11,34	abc	60,46	ab
-N	7,60	b	3,72	c	6,00	c	46,64	b
-P	17,37	a	9,28	ab	14,30	ab	64,80	ab
-K	12,69	ab	6,94	abc	10,74	abc	63,82	ab
-Ca	11,73	ab	6,02	bc	8,95	bc	67,45	ab
-Mg	18,79	a	9,87	a	14,97	a	75,15	ab
-S	15,77	a	7,84	ab	11,38	abc	82,89	a
-B	15,95	a	8,44	ab	13,51	ab	79,53	a
CV (%)	22,48		19,19		21,71		19,59	
T	CRP (cm)		DRP (mm)		MSRP (g)		MSSR (g)	
SC	22,12	ab	10,74	abc	5,98	ab	8,26	ab
-N	19,25	ab	9,18	c	5,54	b	7,10	b
-P	17,58	b	11,48	ab	8,51	ab	11,13	a
-K	18,50	b	10,74	abc	6,40	ab	8,68	ab
-Ca	20,38	ab	10,30	bc	6,66	ab	9,34	ab
-Mg	23,62	a	12,60	a	8,64	ab	11,41	a
-S	20,32	ab	10,54	bc	7,00	ab	9,70	ab
-B	20,25	ab	11,12	abc	7,29	ab	10,25	ab
CV (%)	9,87		7,74		18,11		15,71	

CV – Coeficiente de Variação; SC – Solução completa; T – Tratamento com soluções nutritivas com omissão de nutrientes. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Aos 180 DAO, plantas sob omissão de N apresentaram menores valores para todas as variáveis biométricas avaliadas. Plantas sob ausência P apresentaram maior AF que plantas do controle, e plantas sob ausência de Ca apresentaram menor MSRP que plantas do controle (Tabela 5).

Tabela 5. Valor médio da área foliar (AF), comprimento da raiz principal (CRP), diâmetro da raiz principal (DRP), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz principal (MSRP), massa seca das raízes secundárias (MSRS), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca do sistema radicular (MSSR) de plantas de *Paratecoma peroba* aos 180 dias após o início da omissão de macronutrientes e boro.

T	AF (dm ²)		MSF (g)		MSC (g)		MSPA (g)			
SC	22,71	b	14,39	ab	13,10	ab	27,49	ab		
-N	0,94	c	0,56	c	3,03	c	3,59	c		
-P	28,25	a	16,81	a	16,47	a	33,28	a		
-K	20,74	b	13,32	b	15,71	a	29,03	ab		
-Ca	20,18	b	12,40	b	10,47	b	22,88	b		
-Mg	24,98	ab	15,02	ab	14,78	ab	29,80	ab		
-S	21,27	b	12,74	b	13,41	ab	26,15	ab		
-B	24,31	ab	15,21	ab	14,00	ab	29,20	ab		
CV (%)	17,09		16,58		26,06		18,08			
T	CRP (cm)		DRP (mm)		MSRP (g)		MSRS (g)		MSSR (g)	
SC	21,63	a	16,29	a	21,35	a	4,17	a	25,51	a
-N	18,06	b	8,89	b	5,65	c	2,18	b	7,84	b
-P	20,63	ab	16,48	a	20,93	a	4,85	a	25,77	a
-K	20,79	ab	13,89	a	17,62	ab	4,46	a	22,08	a
-Ca	20,35	ab	13,87	a	15,27	b	4,54	a	19,81	a
-Mg	21,09	ab	17,45	a	21,02	a	5,07	a	26,09	a
-S	19,81	ab	15,35	a	16,12	ab	5,33	a	21,45	a
-B	21,13	ab	15,71	a	20,01	ab	4,98	a	24,98	a
CV (%)	9,97		15,67		20,52		22,43		18,41	

CV – Coeficiente de Variação; SC – Solução completa; T – Tratamento com soluções nutritivas com omissão de nutrientes. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A relação raiz parte aérea (R/PA) foi maior em plantas conduzidas sem N aos 80 e 180 DAO (Tabela 6).

Tabela 6. Relação raiz parte aérea (R/PA) de plantas de *Paratecoma peroba* aos 80 e 180 dia após a omissão de macronutrientes e boro.

T	80 DAO		180 DAO	
	R/PA			
SC	0,73	b	0,94	b
-N	1,21	a	2,31	a
-P	0,80	b	0,78	b
-K	0,81	b	0,80	b
-Ca	1,06	ab	0,88	b
-Mg	0,77	b	0,88	b
-S	0,87	b	0,84	b
-B	0,76	b	0,86	b
CV (%)	16,03		30,40	

SC – Solução completa; T - Tratamentos. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Sintomatologia visual das deficiências de macronutrientes e boro

Os sintomas de deficiência nutricional surgiram em tempos diferentes ao longo do experimento, conforme indicado na Figura 2.

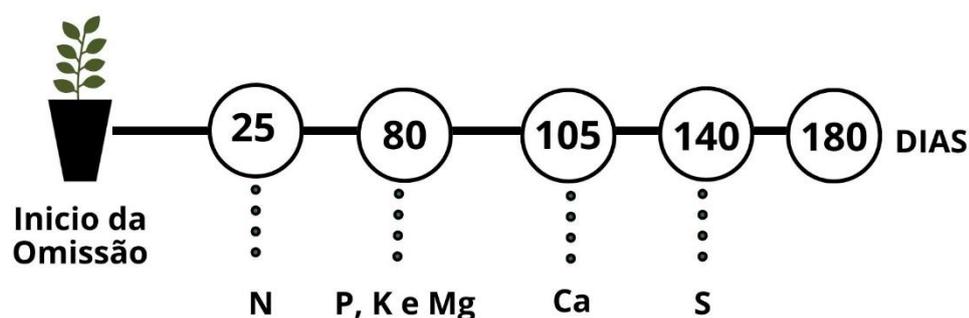


Figura 2. Surgimento dos sintomas visuais após o início da omissão de macronutrientes e boro em plantas de *Paratecoma peroba*.

Omissão de Nitrogênio

Os primeiros sintomas visuais de deficiência foram observados 25 dias após a primeira aplicação da solução sem N, com amarelecimento das folhas velhas. Aos 80 dias, as folhas apresentavam amarelecimento mais proeminente, partindo das mais velhas para as mais novas bem como apresentavam coloração avermelhada/arroxeadada.

Ao longo da omissão de N, notou-se que aos 180 DAO as plantas apresentaram redução do número de folhas, e as remanescentes apresentavam clorose acentuada. Esta redução foi variável, atingindo perda total em algumas plantas, as quais posteriormente apresentaram brotações laterais. Apesar da rápida degradação dos tecidos foliares e da abscisão foliar, até os 180 DAO não houve mortalidade das plantas sem N.

Aos 180 DAO foi possível notar a inibição do desenvolvimento do sistema radicular das plantas sob ausência de N em relação ao controle e aos demais tratamentos, corroborando os dados apresentados na Tabela 4 e 5, em que plantas sob omissão de N apresentaram menor comprimento, diâmetro e massa seca do sistema radicular.

Omissão de Fósforo

Aos 80 dias foram registrados os primeiros sintomas de deficiência de fósforo. A ausência de P até os 80 DAO resultou apenas no amarelecimento das folhas mais velhas e aos 180 DAO além de clorose leve coloração avermelhada. Contudo, aos 105 DAO já se observava coloração avermelhada em folhas velhas de algumas plantas.

Omissão de Potássio

Em plantas de *P. peroba* que não receberam K, aos 80 DAO, houve clorose e necrose das bordas nas folhas velhas, de forma pouco acentuada. Também foi verificado, em algumas plantas, folhas velhas com coloração avermelhada, iniciando-se das bordas para o centro. Aos 180 DAO, além da clorose, das pontuações avermelhadas e necrose das pontas das folhas velhas, as mesmas apresentaram aspecto de murchamento.

Omissão de Cálcio

A ausência de Ca resultou em clorose das folhas mais velhas aos 80 DAO, além de manchas secas ao longo do limbo foliar e em sua extremidade. Aos 105 DAO, além da clorose das folhas novas e velhas, plantas sob supressão de Ca

apresentavam pontuações e manchas avermelhadas e, nas folhas novas, foi possível observar folíolos com má formação. Os mesmos sintomas se acentuaram aos 180 DAO em folhas novas próximas ao ápice. Até 180 DAO não foram observados sintomas da deficiência de Ca no sistema radicular das plantas de *P. peroba*.

Omissão de Magnésio

Plantas que não receberam Mg aos 80 DAO apresentaram clorose internerval em folhas velhas. Aos 105 DAO foi observada clorose internerval e aos 180 DAO, além da clorose, foi observada coloração avermelhada nas folhas mais velhas e necrose nas extremidades.

Omissão de Enxofre

Houve leve amarelecimento das folhas mais velhas nas plantas com ausência de S, aos 80 DAO. Entretanto, sintomas estes não característicos de deficiência de S conforme a literatura. Porém, começando aos 140 dias e se intensificando até os 180 DAO, observou-se, tanto nas folhas novas quanto nas velhas, manchas esbranquiçadas (clorose) e necrose da borda das folhas de plantas de *P. peroba* sob ausência de S.

Omissão de Boro

No tratamento sem B, tanto aos 80 DAO como aos 180 DAO, as plantas apresentaram clorose em folhas velhas e coloração arroxeadada, sem sintomas características da deficiência deste micronutriente.

Discussão

Variáveis biométricas

A supressão de N, por 180 dias, foi o único tratamento de omissão que causou limitações severas ao crescimento das plantas de *P. peroba*. A limitação do crescimento das plantas sob omissão de N ocorre, pois este macronutriente participa

de processos chave do metabolismo das plantas, tais como a fotossíntese e respiração, uma vez que o N compõe aminoácidos, proteínas e enzimas, como a RuBisCo, além de proteínas do fotossistema e moléculas de clorofila (Bang et al., 2021). A supressão do mesmo nutriente, por 150 dias, também resultou em plantas de *Leucaena leucocephala* com menor altura e diâmetro em relação aos demais tratamentos após plantio (Cunha et al, 2023).

Em *Copaifera langsdorffii* (Hoffman et al., 2019) e *Handroanthus impetiginosus* (Silva e Schindwein, 2018) a supressão de N afetou negativamente o crescimento das espécies aos 120 dias após o transplântio das mudas para os vasos, mas foi a omissão de P que resultou em menor crescimento em altura e diâmetro. Já em mudas de *Hymenaea courbaril* (Nascimento et al., 2014), ambos os nutrientes prejudicaram o crescimento, não havendo diferença entre os tratamentos. Em simulação de plantio de *Dipteryx alata*, a omissão individual de todos os macronutrientes, com exceção do S, por 180 dias, prejudicou o crescimento em altura da espécie e o crescimento em diâmetro também foi afetado pela omissão individual dos macronutrientes, excetuando-se o K e S (Sousa et al., 2018).

Dentre os tratamentos, a omissão prolongada de N (180 DAO) foi a que mais comprometeu a produção e alocação de biomassa nos diferentes órgãos das plantas (Tabela 2 e 3). O mesmo foi observado para plantas de *Tabebuia serratifolia*, espécie da mesma família da *P. peroba*, com um ano de idade e sob omissão individual de nutrientes por 90 dias após o plantio (Bittencourt et al., 2020). Resultado semelhante também foi relatado para diferentes espécies, como em mudas de *Hymenaea courbaril*, aos 100 dias de supressão (Nascimento et al., 2014) e em simulação de plantio, com plantas de *Leucaena leucocephala*, aos 150 dias de supressão (Cunha et al., 2023).

Já para plantas de *Handroanthus impetiginosus* (Silva e Schindwein, 2018), também pertencente à família Bignoniaceae, o P foi o nutriente em supressão que mais limitou a produção e alocação de biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular, aos 120 dias após sua omissão, assim como em mudas de *Pochota fendleri*, aos 77 dias do início da omissão (Aquino et al., 2019).

O crescimento radicular das plantas sob ausência de N também foi comprometido, apresentando menor comprimento e diâmetro em relação ao controle e demais tratamentos (Tabela 4 e 5). De acordo com Bang et al. (2021), plantas submetidas à deficiência prolongada de N têm o crescimento da raiz primária e do comprimento total da raiz dificultados. Além disso, nessas condições o crescimento lateral também é inibido, pois o transceptor de nitrato (NRT1.1) remove a auxina dos primórdios da raiz lateral, hormônio este atrelado à formação de raízes.

A relação raiz parte aérea (R/PA) reflete a deficiência nutricional das plantas, sendo maior em ambientes com baixa fertilidade (Silva e Delatorre, 2009). No presente trabalho, plantas sob omissão de N apresentaram maiores valores de R/PA aos 80 e 180 DAO (Tabela 6). Diante disso, nas plantas sob ausência deste macronutriente os danos são mais acentuados na parte aérea, em relação ao sistema radicular, uma vez que não foi observado maior crescimento de raízes para maximizar a retirada de nutrientes, com o aumento do volume de substrato explorado no recipiente.

Plantas sob omissão de N também estão entre os tratamentos que tiveram maior relação R/PA em trabalho desenvolvido com mudas de *Pochota fendleri* (Aquino et al., 2019). Mas, na fase de mudas de *Hymenaea courbaril* (Nascimento et al., 2014) e *Copaifera langsdorffii* (Hoffmam et al., 2019) e, em simulação de plantio de *Dipteryx alata*, foi na supressão de P que se observou maior R/PA (Sousa et al., 2018).

O B possui funções relacionadas, principalmente, à estruturação da parede celular. Está ainda envolvido no processo de alongamento celular, na síntese de ácidos nucleicos, nas respostas hormonais e na função da membrana (Epstein e Bloom, 2006; Taiz e Zaiger, 2017). Desse modo, a ausência deste micronutriente pode comprometer o crescimento das plantas, por levar a constituição de uma parede celular fraca e/ou inadequada, resultando em plantas mais suscetíveis a danos mecânicos. Sua ausência pode inibir a divisão celular e afetar negativamente o desenvolvimento de tecidos vegetais.

Em locais com déficit hídrico e solos pobres em matéria orgânica, o B pode ser o nutriente a limitar o crescimento das espécies. Além disso, sua baixa mobilidade na planta indica a necessidade de um fornecimento constante para

atender às demandas das culturas ao longo do ciclo, ainda mais pela baixa adsorção no solo e assim estar sujeito a perdas por lixiviação (Silveira et al., 2022; Mageste et al., 2022). Além disso, segundo Vieira et al. (2022), o B é pouco estudado em trabalhos com recomendações de adubação para espécies florestais nativas. Entretanto, para espécies exóticas, como as do gênero *Eucalyptus*, a aplicação deste micronutriente apresenta respostas positivas na produtividade (Silveira et al., 2022).

No presente estudo, para *P. peroba* a omissão de B por 180 dias após o plantio não afetou o crescimento nem a alocação de biomassa nas plantas. Para *Leucaena leucocephala* e *Cordia trichotoma*, em simulação de plantio, a ausência de B também não afetou a altura nem o diâmetro das plantas, mas reduziu a produção de massa seca de raiz de ambas e também da parte aérea da segunda espécie (Cunha et al., 2023). Em estudo semelhante com *Dipteryx alata*, os autores também não verificaram prejuízos ao crescimento das plantas aos 180 dias de omissão após o plantio, considerando a mesma pouco exigente em B e/ou que suas sementes podem ter suprido as necessidades deste no período de omissão avaliado (Sousa et al., 2018).

Porém, redução da altura e da produção de biomassa foram observadas em plantas de *Astronium graveolens* (Cunha et al., 2023) e em mudas de *Copaifera langsdorffii* (Hoffmam et al., 2019), mas para esta última o B não foi o micronutriente em omissão mais limitante para a espécie. Para *Croton urucurana*, B estava entre os micronutrientes em omissão que mais influenciaram negativamente o crescimento da espécie na fase de muda, aos 60 dias do início dos tratamentos, porém não houve diferença significativa para produção e alocação de biomassa entre o controle e as demais omissões nesta fase (Sorreano et al., 2008).

A ausência de efeito sobre as variáveis biométricas e incorporação de biomassa, tanto de parte aérea quanto do sistema radicular, sob omissão individual de P, K, Ca, Mg, S e B em relação ao controle, indica que as mudas de *P. peroba*, com bom manejo no viveiro, via adubação de produção, não dependem destes nutrientes em adubação de base, até os 180 dias após o plantio para a manutenção do crescimento, uma vez que há também a translocação desses nutrientes.

Diferente do observado sob supressão de N, inclusive considerando sua mobilidade e lixiviação.

Como foram observados sintomas visuais de deficiência de P, K, Ca, Mg e S, ainda que sem respostas negativas no crescimento, na produção e alocação de biomassa, a condução das plantas sob omissão prolongada desses nutrientes poderá comprometer as variáveis mencionadas após 6 meses.

Assim, os resultados do presente trabalho servem de base para pesquisas que determinem o manejo nutricional adequado da *Paratecoma peroba*, tanto nas fases de plantio e pós-plantio, quanto na fase de viveiro.

Sintomatologia visual das deficiências

Os sintomas de deficiência de N foram os primeiros a se manifestar, com folhas velhas cloróticas aos 25 dias do início da omissão e com agravamento e demais sintomas nos meses subsequentes. A coloração amarelada em plantas sob omissão de N se dá devido à redução da síntese de clorofila ou à quebra das proteínas de ligação à clorofila, existentes nos fotossistemas, o que resulta na degradação da clorofila, promovendo o amarelecimento das folhas (Bang et al., 2021).

A clorose em função da omissão de N também foi observada por Bittencourt et al. (2020), em estudo com plantas de *Tabebuia serratifolia* e por Aquino et al. (2019) com mudas de *Pochota fendleri*, respectivamente, começando sempre pelas folhas mais velhas, indicando a remobilização de N para as folhas mais novas quando o suprimento deste macronutriente está abaixo do ótimo. Porém, nos trabalhos citados a clorose generalizada foi verificada, nas respectivas espécies, em torno dos 77 a 90 dias do início da omissão, não sendo indicado o início exato dos sintomas. Isso mostra que a *P. peroba* é mais sensível que estas espécies ao déficit de N.

Em estudo semelhante com mudas de *Tabebuia ochraceae* (Vieira et al., 2016) a clorose se iniciou após 30 dias do início da omissão de N. Em simulação de plantio de *Paubrasilia echinata* (Valeri et al., 2014), o amarelecimento das folhas sob ausência de N se manifestou aos 90 dias após o transplante das mudas, com dois anos, para vasos de 7 L. Com isso, plantas de *P. peroba* nutridas na fase de muda,

após plantio no campo necessitam de adubação de base e cobertura com N, visto a rapidez da manifestação dos sintomas de deficiência (25 dias).

A coloração avermelhada também foi observada em mudas de *Pochota fendleri* sob deficiência de N, mas esta se manifestou nos pecíolos (Aquino et al., 2019). A coloração avermelhada/arroxeadada resulta do acúmulo de carboidratos não utilizados na síntese de compostos nitrogenados, os quais acabam por ser empregados na síntese de antocianinas (Nemie-Feyissa et al., 2014). Antocianinas são pigmentos vegetais com propriedades antioxidantes, cuja função está relacionada à resposta a estresses biótico e abiótico que, por sua vez, conferem esta coloração avermelhada/arroxeadada ao tecido (Chowdhary et al., 2021; Šamec et al., 2021).

Sob omissão de P, mudas de *Tabebuia ochraceae*, espécie da mesma família da *P. peroba*, os sintomas de deficiência se manifestaram mais precocemente, começando aos 30 dias do início da omissão com o aparecimento de manchas amareladas nas folhas mais velhas, que após atingirem todo o limbo, promoveram a seca e queda das folhas, além de bifurcações decorrentes da morte do ápice (Vieira et al., 2016). Em estudos similares com *Amburana acreana* na fase de muda sob ausência de P, além de clorose, apresentaram algumas folhas tanto novas quanto velhas com enrugamento nas bordas (Vieira et al., 2011). Contudo, este sintoma não foi observado em *P. peroba*.

Wallau et al. (2008) não relataram sintomas visuais em folhas de *Swietenia macrophylla* na fase de mudas submetidas a 100 dias de omissão de P, apenas pequena redução do crescimento, quando comparada aos tratamentos com solução completa. Plantas de *Tabebuia serratifolia* submetidas à omissão de P, aos 90 dias da omissão, também não apresentaram sintomas de deficiência (Bittencourt et al., 2020). Evidenciando que essas espécies apresentam menor demanda por este macronutriente na fase inicial de plantio, sendo o ipê pertencente à mesma família da espécie em estudo.

Na omissão de K, sintomas descritos para *P. peroba* também foram observados em plantas de *Tabebuia serratifolia*, com um ano de idade, aos 90 dias sob omissão de K, contudo, a necrose das margens das folhas se direcionava para o centro dessas (Bittencourt et al., 2020). Já para mudas de *Tabebuia ochraceae*

conduzidas sem K, os sintomas começaram com manchas cloróticas em todo o limbo após 30 dias e aos 90 dias, além de morte do ápice e, conseqüente bifurcação, as folhas velhas se tornaram totalmente secas e caíram (Vieira et al., 2016).

Não foram observadas folhas novas de *P. peroba* deformadas, enrugamento das folhas novas e velhas e colapso no pecíolo, conforme relatado por Andrade (2010) aos 120 dias de omissão de K em mudas de *Schinus terebinthifolius*, *Cordia superba* e *Cariniana estrellensis*.

As funções do K nas plantas estão associadas à regulação de processos fisiológicos tais como: ativação enzimática, manutenção do potencial osmótico, abertura e fechamento estomático, controle das relações hídricas, transporte de açúcares, síntese de proteínas e produção de ATP (Kerbauy, 2004; Epstein e Bloom, 2006). Com relação às folhas velhas de *P. peroba* com aspecto de murcha e as funções do K nas plantas, a supressão de K ocasionou perda de turgidez nas células, ou seja, redução do potencial hídrico, associado à restrição do controle estomático afetando, conseqüentemente, a regulação da entrada e saída de água nas células. Em mudas de *Hymenaea courbaril* a omissão de K resultou na redução do potencial hídrico no horário de maior demanda evaporativa (12h), porém não restringiu a reidratação das plantas e recuperação da turgescência a posteriori (Nascimento et al., 2014).

A má formação dos folíolos observada com a omissão de Ca aos 105 DAO em *P. peroba* está associada às funções estruturais deste nutriente, uma vez que o mesmo age na manutenção da estabilidade da parede celular por interligar cadeias pécticas. Também atua como mensageiro secundário, iniciando as respostas das plantas aos estímulos ambientais, principalmente relacionados ao estresse (Epstein e Bloom, 2006). Além disso, até 180 DAO não foram observados sintomas da deficiência de Ca no sistema radicular das plantas de *P. peroba*. Em *Tabebuia serratifolia*, aos 90 dias de omissão, Bittencourt et al. (2020) verificaram que o sistema radicular exibia necrose e redução do crescimento das raízes.

Plantas que não receberam Mg, aos 80 DAO apresentaram clorose internerval em folhas velhas, sintoma característico da deficiência deste nutriente, relatado em diversas espécies florestais como *Schinus terebinthifolius*, *Cordia*

superba, *Cariniana estrellensis* (Andrade, 2010) e *Tabebuia serratifolia* (Bittencourt et al., 2020). De acordo com Bang et al. (2021), na deficiência de Mg as manchas cloróticas podem aparecer em diferentes padrões, conforme a espécie, desenvolvem-se gradualmente e podem vir acompanhadas por arroxamento e necrose entre as nervuras das folhas.

Houve leve amarelecimento das folhas mais velhas nas plantas com ausência de S, aos 80 DAO. Contudo, não são sintomas característicos de deficiência de S. O S compõe aminoácidos (cistina, cisteína e metionina) de várias coenzimas e vitaminas, e assim, sua ausência pode levar ao comprometimento de algumas etapas do processo do metabolismo das plantas, como a rota glicolítica, a descarboxilação do piruvato e a formação do acetil coenzima A (Taiz et al., 2017). Além disso, participa no transporte fotossintético e respiratório de elétrons, por meio de grupamentos ferro-enxofre (Epstein e Bloom, 2006).

Entretanto, aos 140 dias e se intensificando até os 180 DAO, observou-se, tanto nas folhas novas quanto nas velhas, manchas esbranquiçadas (clorose), sintomas estes também verificados em folhas novas de mudas de *Schizolobium amazonicum*, a partir dos 13 dias após início das omissões que duraram 49 dias (Lanza de Sá et al., 2004), e em mudas de ipê (Bittencourt et al., 2020). Não foram observados sintomas no sistema radicular, mas em mudas de *Schizolobium amazonicum* houve escurecimento do sistema radicular de plantas deficientes em S (Lanza de Sá et al., 2004).

Na omissão de B, assim como em *P. peroba*, Wallau et al. (2008) também observaram clorose e coloração avermelhada nas folhas mais velhas em mudas de *Swietenia macrophylla*, aos 100 dias. Entretanto, não representam sintomas característicos de deficiência de B, os quais se manifestam primeiramente em folhas novas, como verificado em mudas de *Croton urucurana* (Sorreano et al., 2006) e *Schinus terebinthifolius* (Andrade et al., 2012), em que folhas novas apresentavam clorose, seguido da morte do ápice; e em mudas de *Bombacopsis glabra*, que apresentaram folhas novas necrosadas e crestamento (Camacho et al., 2014).

Conforme observado na literatura espécies florestais nativas diferem no início da demanda nutricional e nos sintomas de deficiências apresentados, o que exige manejo diferenciado na recomendação de adubação de base e de cobertura.

Conclusões

As omissões individuais de P, K, Ca, Mg, S e B em *Paratecoma peroba* durante 180 dias não limitaram o crescimento nem a produção e alocação de biomassa. Não foram observados sintomas visuais de deficiência de B. Sintomas de deficiência de S foram os últimos a se manifestarem. O N é o nutriente em supressão que mais afeta o crescimento de *P. peroba*, ocasionando prejuízos na altura, diâmetro e no número de folhas das plantas a partir dos 25 dias do início de sua omissão.

Referências bibliográficas

- Aquino, S., Santos, R. F. D., Batista, K. D. Nutritional deficiency symptoms of young 'cedro doce' plants grown under macronutrient omission. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, p. 264-270, 2019.
- Andrade, M. L. F. D. Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 156 f., 2010.
- Andrade, M. L. F. de; Boaretto, A. E. Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Sci. For.*, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 383-392, 2012.
- Bang, T. C. de, Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., Schjoerring, J. K. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, v. 229, n. 5, p. 2446-2469, 2021.
- Bittencourt, R. F. P. de M., da Silva Júnior, M. L., Sampaio, I. M. G., da Silva Chagas, E., Costa, V. C. N., Coelho, A. D., ... da Assunção, R. D. V. Morphological response and nutritional deficiency symptoms in ipe seedlings (*Tabebuia serratifolia*). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 83619-83634, 2020.

- Bolles Jones, E. W. (1954) Nutrition of *Hevea brasiliensis* I. Experimental methods. Journal Rubber Research International Malaya, v. 14, p. 183.
- Camacho, M. A.; Camara, A. P.; Zardin, A. R. Diagnose visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. Cerne, v. 20, n. 3, p. 427-431, 2014.
- Conceição, A. Adubação Fosfatada no Crescimento em campo de Plantas Propagadas por Miniestaquia de *Paratecoma peroba*. Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2021.
- Chowdhary, V., Alooparampil, S., Pandya, R. V., Tank, J. G. Physiological function of phenolic compounds in plant defense system. Phenolic Compounds-Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications, 2021.
- Cunha, F. L., de Almeida, R. S., Diniz, P. C., de Paula, S. H. A., Campos, V. A., Venturin, N. Crescimento inicial e nutrição mineral de espécies florestais com potencial econômico sob omissão de nutrientes. Advances in Forestry Science, v. 10, n. 1, p. 1949-1957, 2023.
- Epstein, E., Bloom, A. P. Princípios e perspectivas. Londrina. editora planta. 402 p., 2006.
- Flora do BRASIL. *Paratecoma peroba* (Record) Kuhl. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB114203>. Acesso em 8 de maio de 2023.
- Fontes, P. C. R. Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnose. Viçosa, MG: Editora UFV, 2016. 315 p.
- Hoffman, W. R., da Silva, A. A., Nogueira, D. W. R., de Andrade Prudencio, G. Resposta a adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva. Scientia Naturalis, v. 1, n. 5, 2019.

- Kerbauy, G.B. 2004. Fisiologia Vegetal. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 452pp.
- Lanza de Sá, T. C. et al. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. Rev. Cerne, v. 10, p. 184-195, 2004.
- Lins, B. L. A.; Nascimento, M. T. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma Floresta Estacional Semidecidual do Norte Fluminense, Brasil. Rodriguésia, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2010.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3th ed. Nova Odessa: Plant Institute, 384 p., 2009.
- Mageste, J. G., Milagres, V. A. C., Durães, T. M. Eucalyptus growth and initial productivity in response to different sources of boron. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 9, p. 8, 2022.
- Martinelli, G.; Moraes, M. A. Livro Vermelho da Flora do Brasil. Centro Nacional de Conservação da Flora, 1102 p, 2013.
- Martinez, H. E. P.; Carvalho, J. G.; Souza, R. B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.
- Nascimento, H. H. C. do, Pacheco, C. M., de Lima, D. R. M., da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C. Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. Sci. For., v. 42, n. 103. P. 315-328, 2014.
- Nemie-Feyissa, D.; Olafsdottir, S. M.; Heidari, B.; Lillo, C. Nitrogen depletion and small R3-MYB transcription factors affecting anthocyanin accumulation in Arabidopsis leaves. Phytochemistry, v.98, p.34-40, 2014.

- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Viena (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.
- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., Salopek-Sondi, B. The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, v. 10, n. 1, p. 118, 2021.
- Silva, A. A. da, Delatorre, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.
- Silva, A. A., Schlindwein, J. A. Limitação nutricional e crescimento de plantas de ipê-roxo em latossolo amarelo distrófico na omissão de nutrientes. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 5, n. 2, 2018.
- Silveira, R. L. V. D. A., Casarin, V., de Andrade, Paula, T. E, Silveira, R. I., Nutrição e Adubação com Boro em Eucalyptus,” *RR Agroflorestal*, vol. 1, pp. 1–31. Disponível <http://www.rragroflorestal.com.br/images/downloads/103.pdf>. Acesso em 15 de janeiro de 2024.
- Sorreano, M. C. M. Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 296 f., 2006.
- Sorreano, M. C. M; Malavolta, E.; Silva, D. H. da; Cabral, C. P.; Rodrigues, R. R. Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d’água. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 3, p. 347-352, 2011.
- SOUSA, F. F. D., Braga, R. M., Venturin, N., Macedo, R. L. G., Carlos, L., VENTURIN, R. P. Exigências nutricionais de mudas de *Dipteryx alata* sob limitação nutricional. *Ciência Florestal*, v. 28, p. 102-114, 2018.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora, 2017.

- Valeri, S. V., Pizzaia, L. G. E., Sá, A. F. L. D., Cruz, M. C. P. D. Efeitos da omissão de nutrientes em plantas de *Caesalpinia echinata*. *Cerne*, 20(1), 73-80, 2014.
- Vieira, C. R., dos Santos Weber, O. L., Scaramuzza, J. F., Costa, A. C., de Souza, T. R. Descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*Amburana acreana*). *Floresta*, v. 41, n. 4, 2011.
- Vieira, C. R.; Weber, O. L, dos S.; Scaramuzza, J. F. Omissão de macronutrientes no crescimento inicial de *Tabebuia ochraceae*. *Ambiência Guarapuava (PR)*, v. 12, n. 4, p. 869-883, 2016.
- Vieira, C. R., da Costa, P. P., Botelho, R. A., da Silva, R. N. Z. Doses de Boro no Crescimento Inicial de Mudas de *Tabebuia impetiginosa*. *UNICIÊNCIAS*, v. 26, n. 1, p. 37-41, 2022.
- Wallau, R. L. R. de, Borges, A. R., Almeida, D. R. de, Camargos, S. L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. *Cerne*, v. 14, n. 4, p. 304-310, 2008.

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE *Paratecoma peroba* SOB LIMITAÇÃO NUTRICIONAL

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da omissão de nutrientes sobre parâmetros fotossintéticos de *Paratecoma peroba* após o plantio. Mudanças produzidas por sementes foram transplantadas para vasos de 3,8 L e, após 30 dias, iniciou-se aplicação de solução nutritiva completa e com omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, S e B por 180 dias. Semanalmente foram avaliados o teor de clorofila, o índice de antocianinas e flavonoides e a cada 20 dias a intensidade de cor verde (SPAD). Aos 32, 108 e 168 dias da omissão foram avaliadas as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a*. As alterações das variáveis fisiológicas precedem as alterações morfológicas em plantas de *P. peroba* sob omissão de macronutrientes e boro, havendo reduções do índice SPAD, aumento do índice de flavonoides e antocianinas e reduções do teor de clorofila e no NBI antecedendo sintomas visuais de deficiência, principalmente, na omissão de N em que as plantas também apresentaram menor taxa fotossintética.

Palavras-chave: Espécie arbórea nativa; peroba do campo; ecofisiologia; deficiência nutricional.

Introdução

A limitação de nutrientes exerce impacto nas funções fisiológicas nas plantas, desencadeando uma série de respostas adaptativas e alterações em seu metabolismo, uma vez que nutrientes essenciais desempenham diversas funções nas plantas (Cunha et al., 2023). Dentre esses impactos associados à limitação de nutrientes está a redução da fotossíntese, uma vez que esses elementos são vitais para o funcionamento adequado do aparato fotossintético. A escassez de nutrientes compromete a eficiência da maquinaria fotossintética, influenciando diretamente a taxa de produção de assimilados e, conseqüentemente, o crescimento da planta.

A redução da condutância estomática é outra consequência da limitação nutricional, uma vez que os estômatos desempenham um papel crucial na regulação do influxo de dióxido de carbono (CO₂), necessário para a fotossíntese. Com isso, a redução na abertura estomática compromete a entrada de CO₂, prejudicando ainda mais a taxa fotossintética (Nascimento et al., 2014; Andrade e Boaretto, 2019).

Danos ao fotossistema II (PSII) também podem resultar do estresse nutricional, comprometendo a eficiência na conversão de luz em energia química, prejudicando, portanto, a produção de ATP e NADPH. Além dessas alterações, a limitação de nutrientes pode induzir respostas adaptativas caracterizadas pelo aumento da produção de compostos antioxidantes, como antocianinas e flavonoides, os quais, desempenham um papel protetor contra estresses oxidativos, buscando mitigar danos.

De acordo com Araújo et al. (2018), danos ao metabolismo das plantas podem ser identificados de maneira mais imediata por meio da obtenção das variáveis fisiológicas, enquanto as alterações morfológicas são manifestadas a posteriori, embora forneçam resultados significativos. Em seus respectivos estudos Campoe et al. (2014) e Rorato et al. (2018) também destacam a relevância de se obterem variáveis fisiológicas e não apenas as relacionadas ao crescimento, pois apenas o acompanhamento morfométrico não reflete com precisão as alterações no metabolismo das plantas quando submetidas a algum tipo de estresse.

A compreensão e identificação dessas alterações que precedem o estágio mais avançado do estresse nutricional podem auxiliar no manejo adequado da adubação durante todas as fases da cultura. Diante do exposto, ressalta-se a importância da disponibilidade adequada de nutrientes para a manutenção de processos vitais das plantas. Apesar disso, ainda há uma escassez de estudos sobre as necessidades nutricionais relacionadas aos parâmetros fisiológicos das espécies arbóreas nativas nessas condições, principalmente devido à grande diversidade de espécies.

Dentre as espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica destaca-se *Paratecoma peroba*, também denominada de peroba do campo, uma espécie secundária tardia, podendo atingir até 40 m de altura, e diâmetro variando entre 40 e 80 cm (Lorenzi, 2009; Flora do Brasil, 2020). Além de desempenhar um importante

papel ecológico, a espécie destaca-se na indústria madeireira devido às características de sua madeira, considerada robusta e duradoura, logo, altamente valorizada na produção de móveis de luxo, bem como em trabalhos de carpintaria e marcenaria (Lorenzi, 2009; Lins e Nascimento, 2010; Martinelli e Moraes, 2013; Conceição, 2021). Devido à exploração intensiva para fins comerciais, a espécie enfrenta ameaças significativas de extinção, especialmente no estado do Rio de Janeiro (Brasil, 2022).

Para o sucesso de sua utilização em plantios puros visando à produção de madeira ou os plantios para fins ambientais, é importante conhecer as demandas nutricionais da espécie, o que permite definir o manejo adequado em cada tipo de solo. Além disso, de acordo com Lima et al. (2021), o conhecimento das características fisiológicas das espécies arbóreas também pode ser utilizado como uma estratégia eficiente na seleção das espécies adequadas a determinadas condições, promovendo maior assertividade no manejo dessas. Neste contexto, em função da carência de informações sobre a resposta fisiológica de *Paratecoma peroba* à deficiência nutricional, este trabalho objetivou avaliar como a omissão de nutrientes afeta os parâmetros fotossintéticos da espécie.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. Durante o experimento, a temperatura e umidade do ar foram monitoradas através do Datalogger (modelo AK 174 – AKSO) com as médias mensais representadas na Figura 1.

Inicialmente, foi realizada a semeadura *P. peroba*, adquirida da empresa Fundação José Silveira/Programa Arboretum, cuja origem e coleta se deu em matrizes localizadas no município de Mucuri – BA, em bandejas plásticas contendo areia e, após a germinação, as plântulas, ao apresentarem dois pares de folhas definitivas, foram transferidas para tubetes de 280 cm³ preenchidos com substrato florestal comercial acrescido de 8 g.kg⁻¹ de substrato de adubo de liberação lenta

(Osmocote Plus© 14-09-12, 3 meses de liberação), conforme recomendação do fabricante.

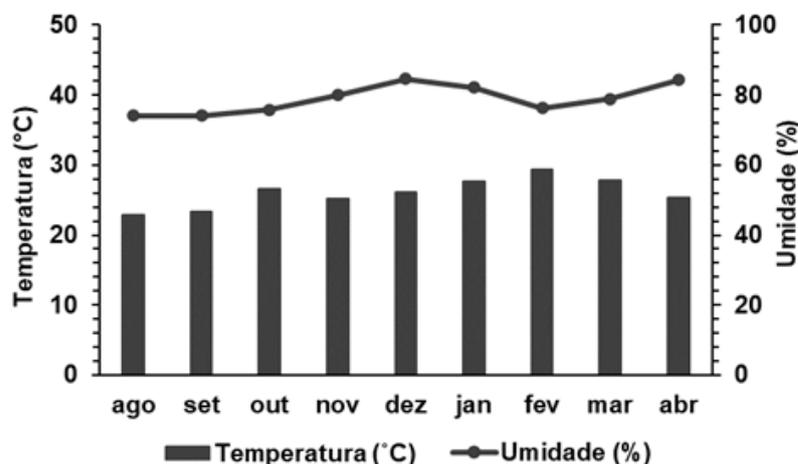


Figura 1. Temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar de agosto/2022 a abril/2023 da casa de vegetação onde foi realizado o experimento de omissão em plantas de *Paratecoma peroba*.

Semanalmente, enquanto permaneceram nos tubetes, as mudas receberam 20 mL de solução completa Bolle-Jones (1954) preparada sem boro (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva (ml L⁻¹) de Bolle-Jones (1954).

Sol. Estoque	C	SC	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B
Na ₂ HPO ₄	1	1	1	-	1	1	1	1	1
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1	2	-	2	2	-	2	2	2
KNO ₃	1	1	-	1	-	1	3	1	1
K ₂ SO ₄	0,5	4	4	4	-	4	6	-	4
MgSO ₄	0,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-	-	2,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1	1,5	-	1,5	2	2,5	2	-	1,5
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,01	-	200	-	-	-	-	-	-
K ₂ HPO ₄	1	-	1	-	-	-	1	1	-
Mg(NO ₃) ₂	0,5	-	-	-	-	-	-	2,5	-
NaNO ₃	1	-	-	1	-	-	-	-	-
SOL.A*	-	1	1	1	1	1	1	1	a-B
Fe-EDTA**	-	1	1	1	1	1	1	1	1

C – Concentração molar; SC – Solução Completa; Sol. – Solução. *Composição da solução A: 141,2 mg de H₃BO₃; 1.750 g de MnSO₄; 250 mg de CuSO₄·5H₂O; 43,1 mg de MoO₃; 287 mg de ZnSO₄·7H₂O, por litro de solução.

**Composição da solução Fe-EDTA: 26,1 g de Na₂ – EDTA; 89,2 g de NaOH N e 24g de FeSO₄·7H₂O, por litro de solução.

Aos 8 meses após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos plásticos de 3,8 L preenchidos com areia média, a qual o pH e condutividade

elétrica, no momento do transplântio, eram de 6,1 e 0,02 mS cm⁻¹, respectivamente, conforme análise química. Após o transplântio, durante 30 dias, as mudas receberam, semanalmente, 200 mL de solução nutritiva completa de Bolle-Jones (1954), preparada sem o micronutriente boro e com meia força dos micronutrientes, devido à quantidade destes estar elevada na areia. As mudas foram irrigadas, manualmente, com água deionizada ($\leq 4 \mu\text{S cm}^{-1}$), mantendo-se o substrato próximo à capacidade de campo.

Após este período, iniciou-se a omissão individual de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B), havendo um tratamento controle (C), contendo todos os macros e micronutrientes, via solução de Bolle-Jones (1954), com meia força dos micronutrientes. Foram aplicados 50 mL de solução nutritiva, conforme cada tratamento, em dias alternados, sendo que, a partir dos 91 dias até o final do experimento (aos 180 dias da omissão), em função do crescimento das plantas e do aparecimento de sintomas de deficiência no tratamento controle, passou-se a aplicar 100 mL de solução.

Durante a omissão de nutrientes, a cada 20 dias, a intensidade de cor verde (SPAD) foi obtida no período da manhã (8h às 10h) em todas as plantas. Em cada planta foram selecionadas e marcadas duas folhas expandidas, para as medições, sendo elas folhas da metade superior (folha nova – terceira ou quarta folha a partir do ápice) e da metade inferior (folha velha) das plantas.

A intensidade de cor verde foi estimada por meio de um Medidor Portátil de Clorofila (modelo SPAD-502 “Soil Plant Analyser Development” Minolta, Japão). Semanalmente foram obtidos o teor de clorofila (Chl), o índice de flavonoides (Flav) e antocianinas (Anth) e do índice do equilíbrio do nitrogênio (NBI) por meio do sensor DUALEX®, em duas plantas por parcela e em duas folhas (folha nova e folha velha). Para ambos os equipamentos foram realizadas três leituras, ao longo de um dos folíolos, e a partir dessas utilizou-se o valor médio.

Aos 32, 108 e 168 dias após o início dos tratamentos foram obtidas as variáveis relacionadas às trocas gasosas nas folhas novas de uma planta por parcela. Para isso, utilizou-se um analisador portátil de CO₂ a infravermelho – IRGA (Infrared Gas Analyser) LI6400 XT (LiCor, Nebraska, USA), para a obtenção da taxa

de assimilação líquida do CO₂ (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

As medições das trocas gasosas foram aferidas entre 08:00 e 10:00h da manhã. Nesse estudo, a intensidade luminosa média utilizada no IRGA foi de $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mediante medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no interior da casa de vegetação, utilizando sensor espectrorradiômetro (Spectrum Technologies®, Inc.). Nestes mesmos períodos, para obtenção dos parâmetros relacionados à emissão da fluorescência da clorofila *a* foi utilizado um fluorímetro (Pocket PEA - Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra). Antes das avaliações, a área do folíolo amostrado foi adaptada ao escuro por 30 min, por meio de pinças especiais. Assim, os seguintes parâmetros foram obtidos: eficiência máxima do fotossistema II (F_v/F_m) e índice de desempenho fotossintético (PI_{abs}).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), composto pelos nutrientes em omissão e o controle (SC, -N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S e -B). Foram utilizados quatro blocos, com quatro plantas por parcela. As plantas foram blocadas conforme altura no momento do transplante para o vaso, em que as médias eram de 14,7 cm, 19,2 cm, 14,4 cm e 11,0 cm, para os blocos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o software R versão 3.6.3, usando o pacote ExpDes.pt.

Resultados

Quanto ao índice de verde (SPAD) das folhas novas, a partir dos 40 dias após a omissão (DAO) plantas conduzidas sem N passaram a apresentar menor índice de verde em relação ao controle e demais tratamentos exceto aos 140 DAO, onde não diferiu das omissões de Ca, B e S (Figura 2). A partir dos 80 DAO houve redução dos valores obtidos pelo SPAD para as plantas conduzidas sem Ca em relação às omissões de P e Mg, e aos 160 e 180 DAO em relação à omissão de K (Figura 2).

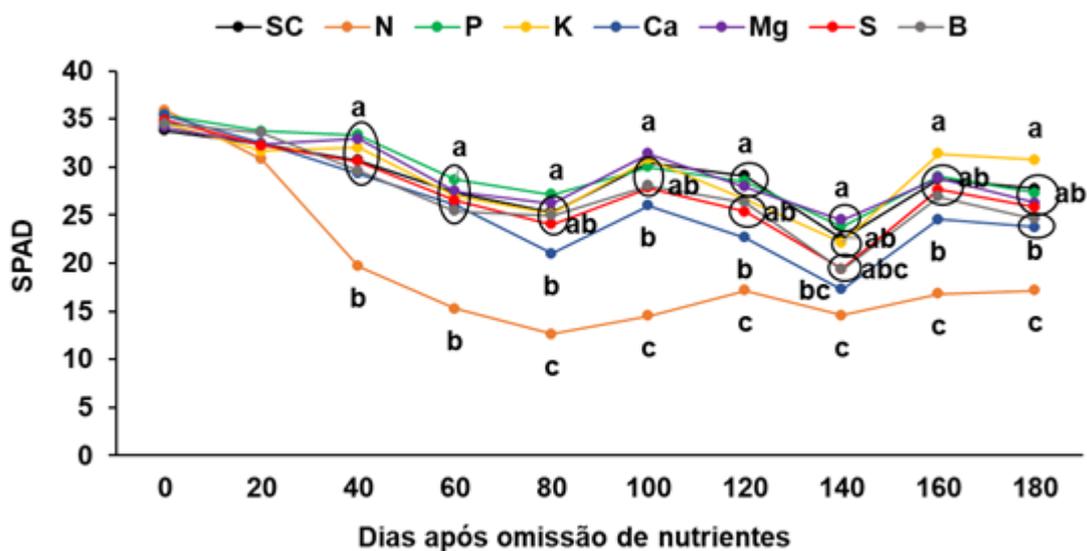


Figura 2. Valores médios da intensidade de verde (SPAD) das folhas novas de *Paratecoma peroba*, durante 180 dias de omissão de macronutrientes e boro (SC – Solução completa). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para as folhas velhas a diferença entre o índice de verde foi observada entre os tratamentos apenas a partir dos 100 DAO, em que plantas conduzidas sob omissão de N apresentaram maior amarelecimento em relação aos demais tratamentos e o controle (Figura 3).

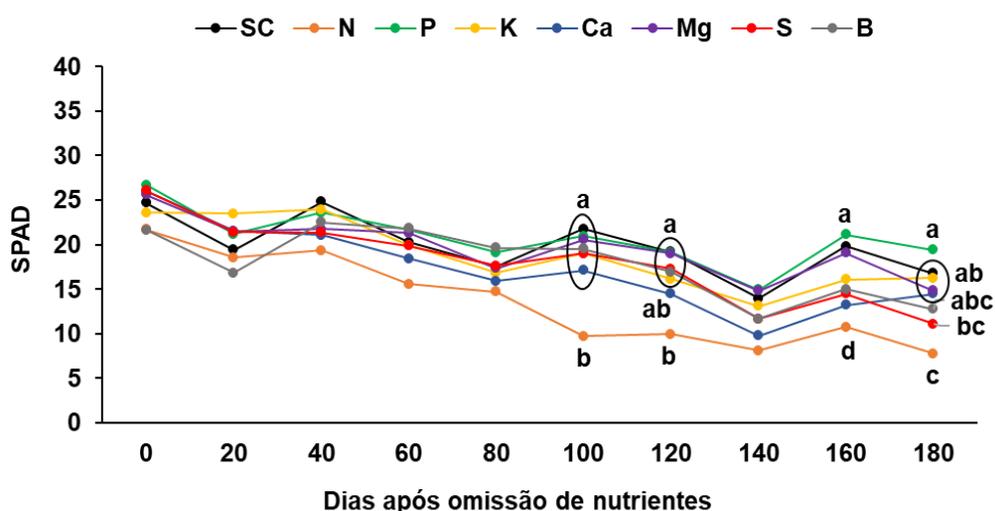


Figura 3. Valores médios da intensidade de verde (SPAD) de folhas velhas de plantas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 2 apresenta os níveis de flavonoides em folhas novas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos até a 8ª semana. Contudo, a partir do mesmo oscilações mínimas foram verificadas entre alguns tratamentos.

Tabela 2. Flavonoides em folhas novas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Flavonoides										CV (%)						
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B									
0	0,88	a	0,71	a	0,83	a	0,87	a	0,87	a	0,96	a	0,88	a	0,89	a	19,02
1	0,98	a	0,85	a	0,89	a	0,87	a	0,86	a	0,98	a	1,08	a	0,80	a	20,45
2	1,11	a	1,05	a	0,98	a	1,05	a	1,10	a	1,08	a	1,11	a	1,02	a	16,95
3	1,10	a	1,12	a	0,96	a	1,21	a	1,17	a	1,09	a	1,22	a	1,01	a	22,54
4	1,18	a	1,22	a	1,04	a	1,27	a	1,27	a	1,29	a	1,25	a	1,03	a	18,87
5	1,24	a	1,35	a	1,25	a	1,11	a	1,28	a	1,28	a	1,30	a	1,25	a	18,82
7	1,32	ab	1,57	a	1,17	b	1,35	ab	1,41	ab	1,27	ab	1,34	ab	1,30	ab	15,73
8	1,40	a	1,44	a	1,31	a	1,24	a	1,41	a	1,25	a	1,29	a	1,30	a	13,62
9	1,55	a	1,47	a	1,45	a	1,51	a	1,50	a	1,32	a	1,34	a	1,37	a	15,35
10	1,52	a	1,53	a	1,50	a	1,53	a	1,59	a	1,39	a	1,40	a	1,38	a	15,93
11	1,54	a	1,60	a	1,49	a	1,59	a	1,62	a	1,49	a	1,46	a	1,47	a	12,91
12	1,47	a	1,59	a	1,58	a	1,59	a	1,58	a	14,97	a	1,53	a	1,43	a	13,88
13	1,32	b	1,48	ab	1,61	ab	1,39	ab	1,37	ab	1,45	ab	1,71	a	1,49	ab	14,77
14	1,30	a	1,45	a	1,00	a	1,42	a	1,47	a	1,54	a	1,67	a	1,61	a	14,80
15	1,31	b	1,43	ab	1,51	a	1,41	ab	1,54	ab	1,60	ab	1,53	ab	1,59	ab	14,52
17	1,54	a	1,49	a	1,72	a	1,50	a	1,54	a	1,53	a	1,47	a	1,61	a	14,61
18	1,42	a	1,62	a	1,75	a	1,57	a	1,56	a	1,61	a	1,61	a	1,55	a	11,38
19	1,41	a	1,66	a	1,79	a	1,64	a	1,59	a	1,50	a	1,63	a	1,64	a	14,73
20	1,46	ab	1,65	ab	1,77	a	1,65	ab	1,56	ab	1,36	b	1,54	ab	1,76	a	13,96
21	1,24	a	1,32	a	1,27	a	1,21	a	1,21	a	1,12	a	1,28	a	1,13	a	24,40
22	1,30	a	1,34	a	1,44	a	1,07	a	1,29	a	1,11	a	1,29	a	1,36	a	20,45
23	1,16	a	1,23	a	1,29	a	1,12	a	1,05	a	1,32	a	1,23	a	1,26	a	22,76
24	1,21	a	1,39	a	1,50	a	1,39	a	1,43	a	1,28	a	1,37	a	1,27	a	19,61

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Já em folhas velhas, como mostra a Tabela 3, os níveis de flavonoides aumentaram gradualmente ao longo do período de omissão. Mas, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos da 2ª a 17ª semana. A partir do mesmo período observaram-se oscilações mínimas, mas significativas, entre o

controle e as omissões de N, P, Ca, S e B que apresentaram valores maiores de flavonoides.

Tabela 3. Flavonoides em folhas velhas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Flavonoides																
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B	CV (%)								
0	0,66	b	0,88	ab	0,97	a	0,79	ab	0,63	b	0,67	ab	0,84	ab	0,89	ab	26,09
1	0,93	a	0,94	a	0,89	a	0,90	a	0,93	a	0,97	a	1,04	a	0,94	a	21,00
2	1,06	a	0,98	a	1,03	a	1,09	a	1,12	a	1,13	a	1,02	a	1,05	a	13,38
3	1,09	a	1,09	a	1,00	a	1,16	a	1,20	a	0,99	a	1,07	a	1,04	a	18,59
4	1,10	a	1,14	a	1,05	a	1,28	a	1,16	a	1,26	a	1,17	a	1,11	a	16,64
5	1,31	a	1,43	a	1,43	a	1,37	a	1,36	a	1,41	a	1,32	a	1,30	a	17,40
7	1,41	a	1,54	a	1,29	a	1,49	a	1,41	a	1,45	a	1,39	a	1,28	a	16,51
8	1,47	a	1,49	a	1,35	a	1,49	a	1,49	a	1,47	a	1,48	a	1,35	a	11,60
9	1,57	a	1,72	a	1,47	a	1,55	a	1,68	a	1,49	a	1,52	a	1,48	a	14,15
10	1,70	a	1,72	a	1,49	a	1,67	a	1,76	a	1,48	a	1,62	a	1,56	a	15,12
11	1,75	a	1,65	a	1,59	a	1,62	a	1,68	a	1,51	a	1,62	a	1,61	a	13,17
12	1,74	a	1,66	a	1,58	a	1,73	a	1,71	a	1,53	a	1,54	a	1,66	a	13,52
13	1,47	a	1,55	a	1,67	a	1,59	a	1,65	a	1,63	a	1,74	a	1,57	a	10,53
14	1,49	a	1,68	a	1,51	a	1,55	a	1,53	a	1,61	a	1,59	a	1,63	a	12,12
15	1,56	a	1,75	a	1,75	a	1,71	a	1,73	a	1,74	a	1,82	a	1,76	a	9,73
17	1,62	a	1,68	a	1,68	a	1,67	a	1,65	a	1,64	a	1,64	a	1,69	a	9,97
18	1,48	b	1,71	ab	1,76	a	1,64	ab	1,71	a	1,69	ab	1,77	a	1,74	a	8,80
19	1,47	c	1,87	ab	1,84	ab	1,76	ab	1,63	bc	1,71	abc	1,90	a	1,82	ab	9,16
20	1,56	ab	1,72	ab	1,86	a	1,60	ab	1,43	b	1,59	ab	1,77	ab	1,69	ab	15,05
21	1,53	a	1,68	a	1,76	a	1,50	a	1,40	a	1,75	a	1,86	a	1,40	a	20,92
22	1,39	b	1,79	a	1,69	ab	1,68	ab	1,58	ab	1,70	ab	1,70	ab	1,77	a	12,46
23	1,37	a	1,61	a	1,64	a	1,50	a	1,43	a	1,49	a	1,52	a	1,61	a	15,46
24	1,59	a	1,69	a	1,70	a	1,73	a	1,48	a	1,57	a	1,65	a	1,56	a	18,14

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 4 apresenta os níveis de antocianinas em folhas novas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos até a 7ª semana. Contudo, a partir do mesmo oscilações mínimas, mas significativas, foram verificadas entre alguns tratamentos, principalmente na omissão de N, cujos valores foram superiores ao controle e a omissões de P, Mg, S e B.

Tabela 4. Antocianina em folhas novas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Antocianina										CV (%)						
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B									
0	0,19	a	0,20	a	0,20	a	0,21	a	0,21	a	0,22	a	0,21	a	0,20	a	16,99
1	0,24	a	0,23	a	0,22	a	0,22	a	0,27	a	0,24	a	0,23	a	0,25	a	15,85
2	0,22	a	0,24	a	0,23	a	0,23	a	0,22	a	0,23	a	0,23	a	0,23	a	7,87
3	0,27	a	0,23	a	0,21	a	0,23	a	0,24	a	0,22	a	0,24	a	0,24	a	15,15
4	0,24	a	0,23	a	0,24	a	0,23	a	0,25	a	0,24	a	0,24	a	0,24	a	9,97
5	0,23	a	0,27	a	0,26	a	0,24	a	0,29	a	0,27	a	0,25	a	0,26	a	18,10
7	0,24	b	0,32	a	0,24	b	0,24	b	0,29	ab	0,25	b	0,26	ab	0,26	ab	16,82
8	0,24	ab	0,27	ab	0,23	b	0,23	b	0,24	ab	0,24	ab	0,28	a	0,24	ab	12,22
9	0,32	ab	0,36	a	0,27	ab	0,26	ab	0,29	ab	0,25	b	0,33	ab	0,26	ab	21,99
10	0,33	ab	0,38	a	0,27	b	0,30	ab	0,33	ab	0,28	b	0,30	ab	0,29	ab	18,65
11	0,32	ab	0,39	a	0,28	ab	0,29	ab	0,30	ab	0,26	b	0,32	ab	0,27	b	23,07
12	0,25	b	0,39	a	0,27	ab	0,27	ab	0,73	ab	0,25	b	0,33	ab	0,26	b	28,33
13	0,23	a	0,24	a	0,25	a	0,23	a	0,24	a	0,24	a	0,31	a	0,27	a	22,81
14	0,25	a	0,26	a	0,26	a	0,25	a	0,28	a	0,35	a	0,29	a	0,33	a	27,54
15	0,23	a	0,26	a	0,24	a	0,23	a	0,28	a	0,28	a	0,25	a	0,29	a	24,58
17	0,29	a	0,25	a	0,26	a	0,23	a	0,30	a	0,28	a	0,24	a	0,29	a	24,04
18	0,25	a	0,28	a	0,28	a	0,27	a	0,29	a	0,31	a	0,31	a	0,29	a	20,11
19	0,28	a	0,30	a	0,31	a	0,30	a	0,32	a	0,30	a	0,31	a	0,32	a	16,78
20	0,27	b	0,30	ab	0,32	ab	0,32	ab	0,29	b	0,28	b	0,29	b	0,36	a	13,87
21	0,24	a	0,24	a	0,25	a	0,26	a	0,24	a	0,23	a	0,25	a	0,23	a	22,51
22	0,26	a	0,28	a	0,26	a	0,26	a	0,26	a	0,25	a	0,26	a	0,28	a	15,64
23	0,23	a	0,27	a	0,24	a	0,23	a	0,26	a	0,29	a	0,24	a	0,26	a	17,23
24	0,26	a	0,27	a	0,27	a	0,25	a	0,29	a	0,26	a	0,25	a	0,29	a	17,76

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Já em folhas velhas, como mostra a Tabela 5, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Excetuando-se na 16ª semana, em que o nível de antocianinas foi superior nas plantas conduzidas sem N em relação ao controle.

Tabela 5. Antocianina em folhas velhas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Antocianina										CV (%)						
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B									
0	0,20	a	0,19	a	0,26	a	0,20	a	0,21	a	0,24	a	0,22	a	0,20	a	24,25
1	0,27	a	0,32	a	0,31	a	0,27	a	0,27	a	0,28	a	0,28	a	0,28	a	20,88
2	0,30	a	0,33	a	0,30	a	0,31	a	0,33	a	0,32	a	0,30	a	0,30	a	15,31
3	0,32	a	0,35	a	0,29	a	0,29	a	0,37	a	0,31	a	0,31	a	0,30	a	21,25
4	0,34	a	0,37	a	0,31	a	0,35	a	0,36	a	0,35	a	0,31	a	0,36	a	18,00
5	0,30	a	0,37	a	0,31	a	0,30	a	0,30	a	0,32	a	0,33	a	0,31	a	18,81
7	0,30	a	0,31	a	0,31	a	0,30	a	0,33	a	0,34	a	0,34	a	0,36	a	22,70
8	0,30	a	0,34	a	0,31	a	0,28	a	0,32	a	0,34	a	0,34	a	0,31	a	14,72
9	0,32	a	0,39	a	0,35	a	0,34	a	0,36	a	0,34	a	0,35	a	0,32	a	17,64
10	0,36	a	0,41	a	0,37	a	0,36	a	0,40	a	0,35	a	0,43	a	0,34	a	20,74
11	0,37	a	0,43	a	0,37	a	0,35	a	0,36	a	0,33	a	0,40	a	0,34	a	20,24
12	0,39	a	0,42	a	0,36	a	0,32	a	0,37	a	0,33	a	0,37	a	0,33	a	20,05
13	0,33	a	0,34	a	0,33	a	0,28	a	0,34	a	0,36	a	0,35	a	0,31	a	23,16
14	0,39	a	0,37	a	0,32	a	0,32	a	0,34	a	0,40	a	0,35	a	0,34	a	26,63
15	0,31	a	0,40	a	0,35	a	0,32	a	0,40	a	0,40	a	0,35	a	0,39	a	22,73
17	0,29	a	0,37	a	0,37	a	0,31	a	0,37	a	0,36	a	0,32	a	0,36	a	19,06
18	0,31	a	0,37	a	0,38	a	0,35	a	0,43	a	0,37	a	0,35	a	0,40	a	19,03
19	0,32	b	0,46	a	0,41	ab	0,37	ab	0,41	ab	0,41	ab	0,40	ab	0,42	ab	17,88
20	0,34	a	0,46	a	0,41	a	0,38	a	0,38	a	0,42	a	0,40	a	0,40	a	16,09
21	0,30	a	0,37	a	0,35	a	0,34	a	0,31	a	0,40	a	0,40	a	0,32	a	20,71
22	0,34	a	0,38	a	0,37	a	0,38	a	0,41	a	0,39	a	0,38	a	0,40	a	15,14
23	0,35	a	0,37	a	0,36	a	0,34	a	0,37	a	0,38	a	0,36	a	0,37	a	13,31
24	0,38	a	0,40	a	0,38	a	0,41	a	0,38	a	0,40	a	0,42	a	0,42	a	19,46

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao longo de 24 semanas, após o início dos tratamentos, observa-se que houve redução no teor de clorofila em folhas novas e velhas das plantas em todos os tratamentos (Tabela 6 e 7). Mas, em grande parte das semanas avaliadas não houve diferenças significativas entre o controle e os nutrientes em omissão.

Tabela 6. Teor de clorofila de folhas novas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Teor de clorofila ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)																
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B	CV (%)								
0	20,04	a	19,10	a	20,66	a	18,59	a	17,47	a	17,47	a	18,62	a	19,95	a	22,86
1	20,13	a	19,95	a	20,91	a	20,12	a	18,29	a	20,49	a	19,73	a	17,84	a	17,63
2	20,77	a	19,18	a	20,16	a	19,87	a	20,01	a	19,34	a	19,10	a	19,42	a	10,49
3	21,23	a	18,89	a	20,75	a	19,24	a	18,77	a	20,47	a	18,24	a	19,53	a	13,01
4	19,27	a	17,71	a	18,49	a	18,47	a	17,83	a	18,16	a	17,64	a	18,94	a	15,14
5	18,40	a	13,64	b	16,19	ab	18,03	a	16,74	ab	15,68	ab	15,60	ab	15,67	ab	13,75
7	17,92	a	11,70	b	18,01	a	17,41	a	17,83	a	17,20	a	15,72	ab	16,48	a	16,45
8	16,84	ab	13,50	c	16,83	ab	18,18	a	15,63	abc	16,18	abc	14,17	bc	16,46	abc	11,86
9	13,30	a	10,90	a	13,49	a	13,70	a	12,33	a	13,90	a	12,26	a	14,18	a	24,79
10	14,57	a	12,86	a	14,29	a	14,30	a	12,73	a	14,48	a	11,86	a	14,12	a	24,67
11	13,07	a	10,94	a	12,76	a	12,55	a	11,75	a	13,20	a	11,38	a	12,70	a	25,01
12	13,92	a	10,99	a	12,02	a	12,78	a	11,87	a	12,76	a	11,51	a	13,47	a	29,06
13	13,88	a	13,11	a	12,19	a	13,76	a	13,45	a	12,94	a	8,73	a	11,55	a	29,77
14	14,57	a	13,82	a	13,53	a	14,51	a	13,69	a	11,94	a	10,53	a	9,76	a	31,23
15	15,33	a	12,35	a	13,46	a	14,90	a	13,43	a	11,94	a	13,42	a	12,27	a	29,1
17	10,60	a	12,72	a	11,62	a	12,87	a	10,90	a	11,31	a	11,66	a	9,75	a	25,58
18	13,37	a	11,48	a	9,69	a	10,11	a	11,10	a	9,66	a	9,92	a	10,34	a	28,25
19	12,42	a	10,92	a	10,06	a	10,09	a	11,27	a	10,34	a	10,42	a	9,35	a	28,23
20	11,31	a	9,45	ab	8,90	ab	8,73	ab	10,51	ab	11,57	a	10,26	ab	7,28	b	25,39
21	14,83	a	13,61	a	13,86	a	13,42	a	143,70	a	14,99	a	12,64	a	15,21	a	26,56
22	13,90	a	12,63	a	14,69	a	16,43	a	13,03	a	15,44	a	13,44	a	11,28	a	22,66
23	15,77	a	14,14	a	14,01	a	15,82	a	14,10	a	11,61	a	13,63	a	12,42	a	19,16
24	14,10	a	12,00	a	14,44	a	14,15	a	11,97	a	12,65	a	14,02	a	11,16	a	22,93

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 7. Teor de clorofila em folhas novas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	Teor de clorofila ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)																
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B	CV (%)								
0	18,17	a	18,90	a	14,76	a	19,42	a	13,49	a	14,54	a	17,92	a	19,39	a	23,93
1	16,59	a	13,19	a	15,34	a	17,19	a	16,83	a	16,17	a	16,20	a	16,55	a	31,52
2	14,06	a	12,62	a	14,42	a	14,11	a	12,85	a	13,24	a	15,42	a	13,87	a	23,46
3	14,40	a	10,84	a	14,74	a	14,12	a	10,40	a	13,93	a	13,85	a	13,67	a	34,21
4	13,76	a	11,28	a	13,13	a	11,30	a	11,18	a	11,40	a	13,87	a	12,30	a	34,31
5	12,71	a	9,66	a	12,24	a	13,79	a	13,53	a	12,93	a	11,98	a	12,74	a	26,85
7	14,81	a	8,98	b	13,70	ab	14,25	ab	12,60	ab	11,67	ab	12,32	ab	11,66	ab	26,93
8	13,08	a	10,18	a	11,32	a	13,48	a	11,08	a	11,56	a	10,50	a	11,43	a	19,30
9	10,59	a	7,59	a	8,93	a	10,61	a	8,84	a	9,88	a	9,62	a	10,46	a	31,14
10	9,97	a	7,89	a	9,62	a	10,66	a	8,50	a	10,81	a	8,82	a	10,78	a	29,68
11	9,29	a	7,92	a	8,34	a	9,05	a	8,20	a	9,66	a	7,57	a	9,26	a	30,61
12	10,12	a	6,95	a	7,65	a	9,03	a	7,87	a	9,60	a	7,32	a	8,95	a	29,35
13	9,39	a	8,30	a	10,07	a	10,62	a	8,91	a	7,04	a	7,90	a	8,52	a	31,40
14	9,30	a	8,97	a	11,93	a	9,61	a	9,88	a	8,95	a	8,98	a	10,27	a	31,99
15	10,63	a	6,83	a	9,25	a	9,74	a	8,26	a	6,81	a	8,07	a	7,46	a	31,60
17	10,05	a	7,05	ab	7,69	ab	8,71	ab	6,78	ab	6,43	ab	7,78	ab	6,13	b	32,21
18	10,56	a	7,08	ab	6,44	b	8,20	ab	6,09	b	5,98	b	5,59	b	6,68	b	34,33
19	10,48	a	5,48	b	6,85	b	7,29	b	6,52	b	5,94	b	5,81	b	6,53	b	29,16
20	7,34	a	5,52	a	6,61	a	6,15	a	6,11	a	4,91	a	5,77	a	5,81	a	34,05
21	10,51	a	8,38	ab	8,45	ab	7,61	ab	10,13	ab	5,85	b	6,14	ab	7,88	ab	34,90
22	9,02	a	7,60	a	7,60	a	7,13	a	5,83	a	7,17	a	7,23	a	6,81	a	28,01
23	8,94	a	7,40	a	6,92	a	8,56	a	8,04	a	6,95	a	6,29	a	7,32	a	28,91
24	7,49	a	5,91	a	8,26	a	6,52	a	7,27	a	6,28	a	5,84	a	5,30	a	32,33

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ao longo de 24 semanas, após o início dos tratamentos, observa-se que houve redução no índice de nitrogênio equilibrado (NBI), em folhas novas e velhas das plantas em todos os tratamentos (Tabela 8 e 9). Mas, em grande parte das semanas avaliadas não houve diferenças significativas entre o controle e os nutrientes em omissão.

Tabela 8. Índice de nitrogênio equilibrado (NBI) de folhas novas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	NBI										CV (%)						
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B									
0	24,78	a	27,32	a	24,90	a	22,56	a	20,93	a	19,52	a	21,71	a	23,08	a	28,54
1	21,52	a	24,37	a	25,02	a	24,08	a	23,82	a	22,15	a	19,16	a	22,69	a	26,15
2	19,39	a	19,40	a	22,05	a	20,06	a	19,74	a	18,89	a	18,63	a	20,88	a	25,22
3	20,90	a	17,79	a	22,40	a	16,68	a	18,29	a	19,27	a	15,28	a	22,05	a	34,61
4	17,31	a	15,29	a	19,14	a	14,87	a	14,81	a	14,37	a	14,66	a	20,47	a	32,14
5	15,27	a	11,20	a	13,80	a	17,32	a	14,26	a	12,75	a	12,36	a	13,07	a	28,27
7	13,85	ab	7,93	b	17,02	a	13,31	ab	13,40	a	13,79	a	12,51	a	13,22	ab	29,13
8	12,31	a	11,34	a	13,02	a	18,13	a	11,41	a	13,31	a	11,45	a	13,14	a	34,48
9	8,84	a	9,73	a	9,37	a	9,24	a	8,91	a	10,75	a	9,41	a	10,43	a	42,14
10	9,94	a	11,23	a	9,65	a	9,52	a	8,20	a	10,72	a	8,82	a	10,38	a	42,35
11	8,74	a	8,30	a	8,86	a	8,17	a	8,98	a	8,98	a	8,27	a	8,76	a	36,13
12	9,61	a	8,11	a	7,74	a	8,45	a	7,81	a	8,77	a	7,95	a	9,54	a	39,64
13	11,42	a	9,20	ab	7,65	ab	10,56	ab	10,35	ab	9,49	ab	5,43	b	8,10	ab	40,36
14	11,88	a	9,81	a	9,42	a	10,62	a	10,04	a	8,57	a	6,51	a	6,30	a	41,44
15	12,68	a	9,07	a	8,15	a	11,09	a	9,14	a	7,80	a	9,40	a	8,05	a	39,16
17	7,06	a	8,81	a	6,82	a	8,82	a	7,60	a	8,40	a	8,14	a	6,17	a	38,54
18	10,11	a	7,27	ab	5,58	b	6,45	ab	7,27	ab	6,28	ab	6,31	a	6,68	ab	35,63
19	9,64	a	6,71	a	5,62	a	6,34	a	7,25	a	7,44	a	6,60	a	6,10	a	38,29
20	7,88	ab	5,71	ab	5,04	ab	5,40	ab	7,05	ab	9,19	a	7,77	ab	4,25	b	40,70
21	13,44	a	10,64	a	9,96	a	12,77	a	13,74	a	14,96	a	10,80	a	14,28	a	46,01
22	11,47	ab	9,71	ab	10,52	ab	16,39	a	10,91	ab	15,08	ab	11,37	ab	8,67	b	38,78
23	14,74	a	12,16	a	12,00	a	15,33	a	14,04	a	9,28	a	11,91	a	10,16	a	35,75
24	12,33	a	8,73	a	10,16	a	11,36	a	9,30	a	10,38	a	11,23	a	10,11	a	38,55

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 9. Índice de nitrogênio equilibrado (NBI) de folhas velhas de plantas de *Paratecoma peroba* ao longo de 180 dias de omissão de macronutrientes e boro.

S	NBI										CV (%)						
	SC	N	P	K	Ca	Mg	S	B									
0	29,37	a	21,90	a	16,07	a	26,27	a	19,66	a	21,93	a	21,72	a	24,39	a	36,31
1	18,21	a	14,65	a	17,03	a	20,12	a	19,27	a	17,04	a	16,00	a	19,90	a	38,24
2	13,80	a	13,33	a	14,74	a	13,11	a	12,11	a	12,03	a	15,76	a	13,89	a	27,66
3	13,90	a	9,77	a	14,87	a	12,66	a	8,87	a	14,49	a	13,13	a	13,85	a	38,41
4	12,94	a	10,30	a	12,52	a	9,03	a	10,26	a	9,15	a	12,13	a	11,11	a	35,44
5	9,79	a	6,99	a	9,54	a	10,47	a	11,03	a	9,46	a	9,32	a	10,78	a	36,79
7	11,33	a	5,95	a	11,65	a	9,86	a	9,42	a	8,36	a	9,16	a	10,39	a	42,52
8	9,26	a	7,93	a	8,69	a	9,59	a	7,57	a	8,02	a	7,30	a	9,06	a	29,37
9	6,95	a	4,74	a	6,35	a	7,18	a	5,34	a	6,89	a	6,60	a	7,41	a	39,50
10	6,16	a	5,13	a	6,95	a	6,80	a	4,99	a	7,52	a	5,66	a	7,16	a	42,64
11	5,48	a	5,98	a	5,58	a	5,84	a	4,95	a	6,64	a	4,88	a	5,91	a	48,65
12	6,05	a	4,87	a	5,18	a	5,36	a	4,69	a	6,33	a	4,94	a	5,46	a	40,63
13	6,78	a	5,41	a	6,34	a	6,92	a	5,44	a	4,48	a	4,57	a	5,49	a	40,65
14	6,67	a	5,40	a	8,51	a	6,23	a	6,58	a	5,81	a	6,14	a	6,38	a	40,42
15	7,26	a	3,94	b	5,58	ab	5,94	ab	4,94	ab	4,04	ab	4,47	ab	4,27	ab	41,46
17	6,36	a	4,70	a	4,70	a	5,24	a	4,47	a	3,97	a	4,49	a	3,57	a	39,42
18	7,70	a	4,18	b	3,68	b	5,10	ab	3,60	b	3,60	b	3,18	b	3,88	b	45,68
19	7,43	a	2,95	b	3,76	b	4,24	b	4,05	b	3,58	b	3,12	b	3,64	b	36,01
20	4,86	a	3,29	a	3,54	a	4,00	a	4,77	a	3,14	a	3,54	a	3,43	a	45,21
21	7,46	a	5,08	a	5,45	a	6,45	a	8,39	a	3,41	a	3,41	a	7,23	a	65,02
22	6,78	a	5,38	ab	4,35	ab	4,29	ab	3,87	b	4,30	ab	4,57	ab	3,83	b	36,28
23	6,74	a	4,67	a	4,31	a	5,83	a	6,06	a	5,38	a	4,20	a	4,56	a	41,39
24	4,99	a	3,49	a	5,08	a	3,86	a	5,81	a	5,41	a	3,72	a	3,55	a	67,47

S – Semanas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si quanto ao fator nutriente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para assimilação de CO₂ diferenças significativas foram observadas aos 108 DAO em que plantas sob omissão de N apresentaram menor fotossíntese em relação aos demais tratamentos, e aos 168 DAO em que plantas sob omissão de N não diferiram do controle, mas apresentaram menor fotossíntese em relação às plantas sob omissão de K e S (Figura 4).

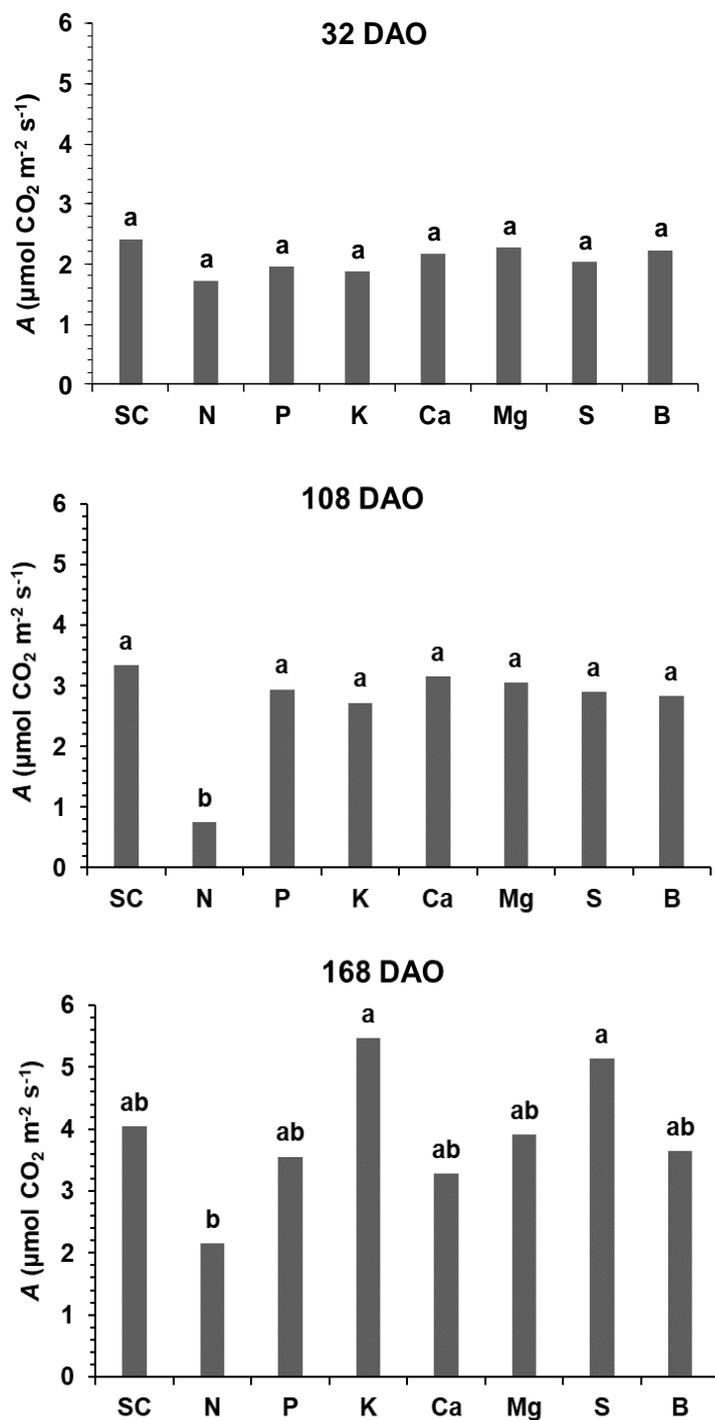


Figura 4. Assimilação de CO₂ (A) em folhas novas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro aos 32, 108 e 168 DAO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nos períodos avaliados, diferenças significativas foram observadas aos 108 DAO em que plantas sob omissão de N apresentaram menor condutância estomática em relação ao controle, não diferindo dos demais tratamentos, e aos 168 DAO plantas sob omissão de N apresentaram menor condutância em relação ao tratamento com ausência de S (Figura 5).

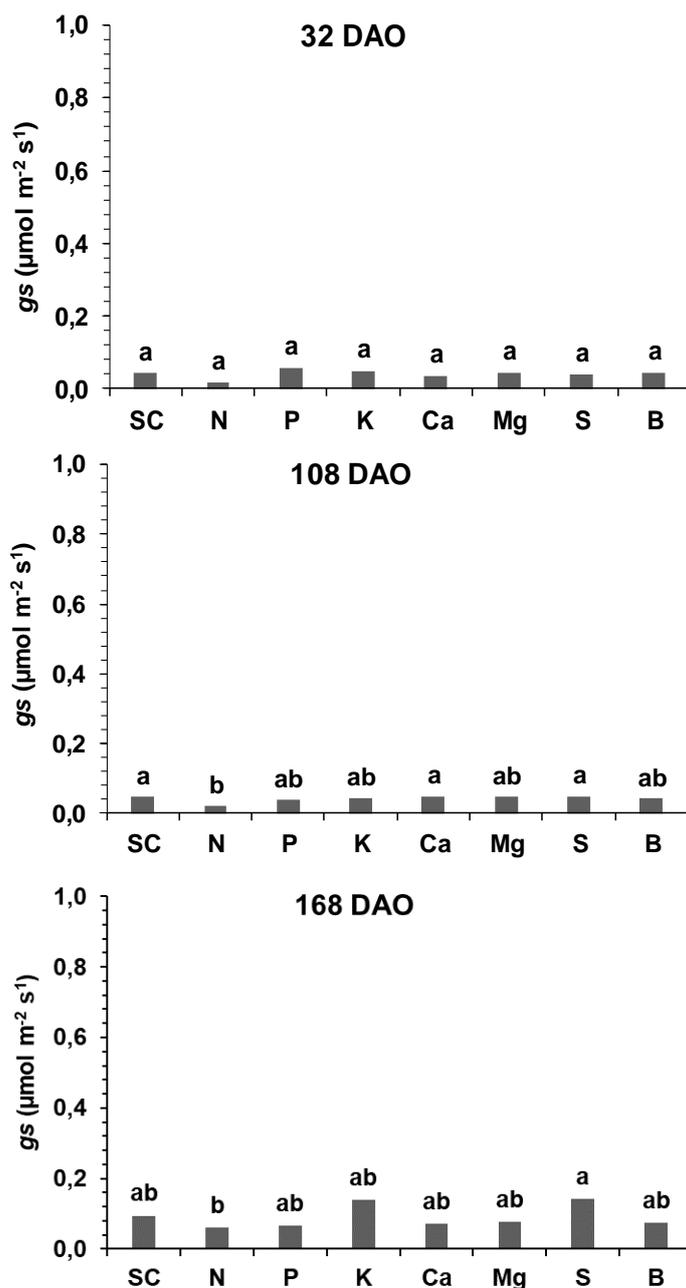


Figura 5. Condutância estomática (g_s) em folhas novas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro aos 32, 108 e 168 DAO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para transpiração, plantas sob omissão de N apresentaram menor valor em relação ao controle e as omissões de Ca e S aos 108 DAO, sem diferença entre os tratamentos nos demais períodos avaliados (Figura 6).

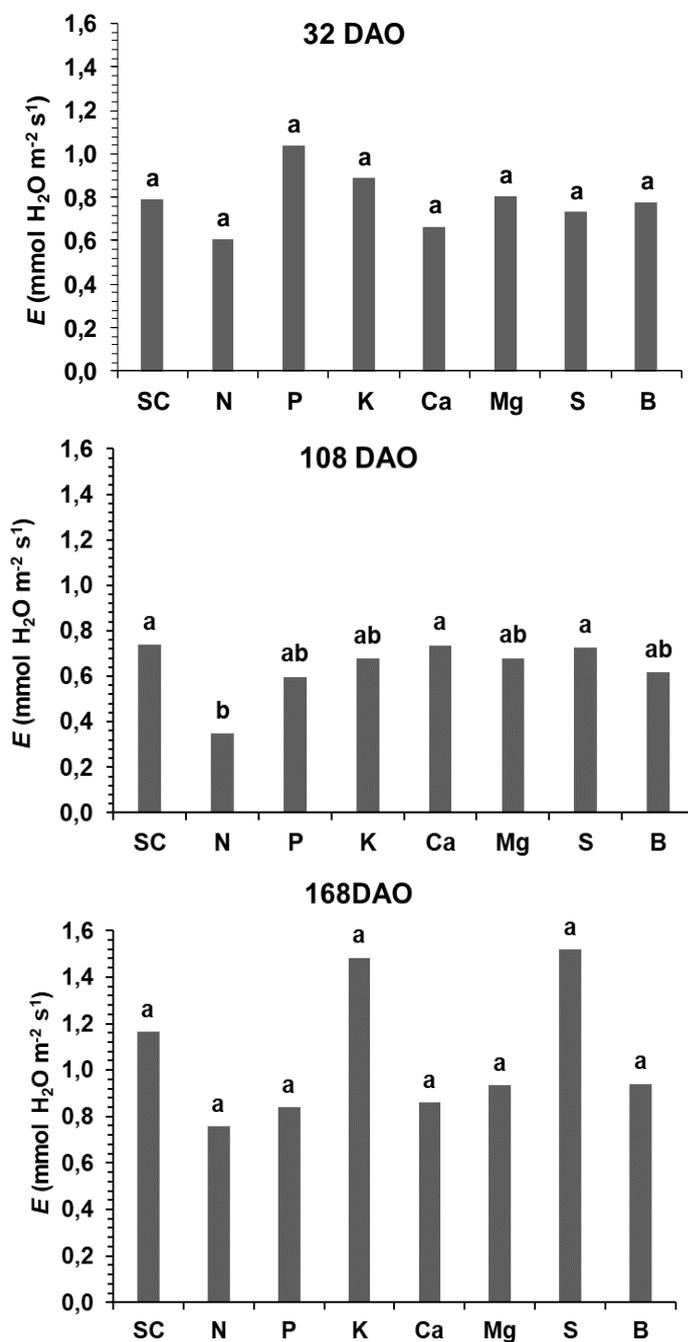


Figura 6. Transpiração (E) em folhas novas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro aos 32, 108 e 168 DAO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto ao rendimento quântico máximo do PSII nas folhas novas dentre os tratamentos testados apenas plantas sob omissão de N apresentaram menor relação Fv/Fm aos 108 DAO, nos demais períodos avaliados não houve diferença entre os tratamentos (Figura 7). A mesma resposta foi verificada para folhas velhas, contudo, plantas sob omissão de N apresentaram menor relação Fv/Fm apenas em relação ao controle e à omissão de S (Figura 8).

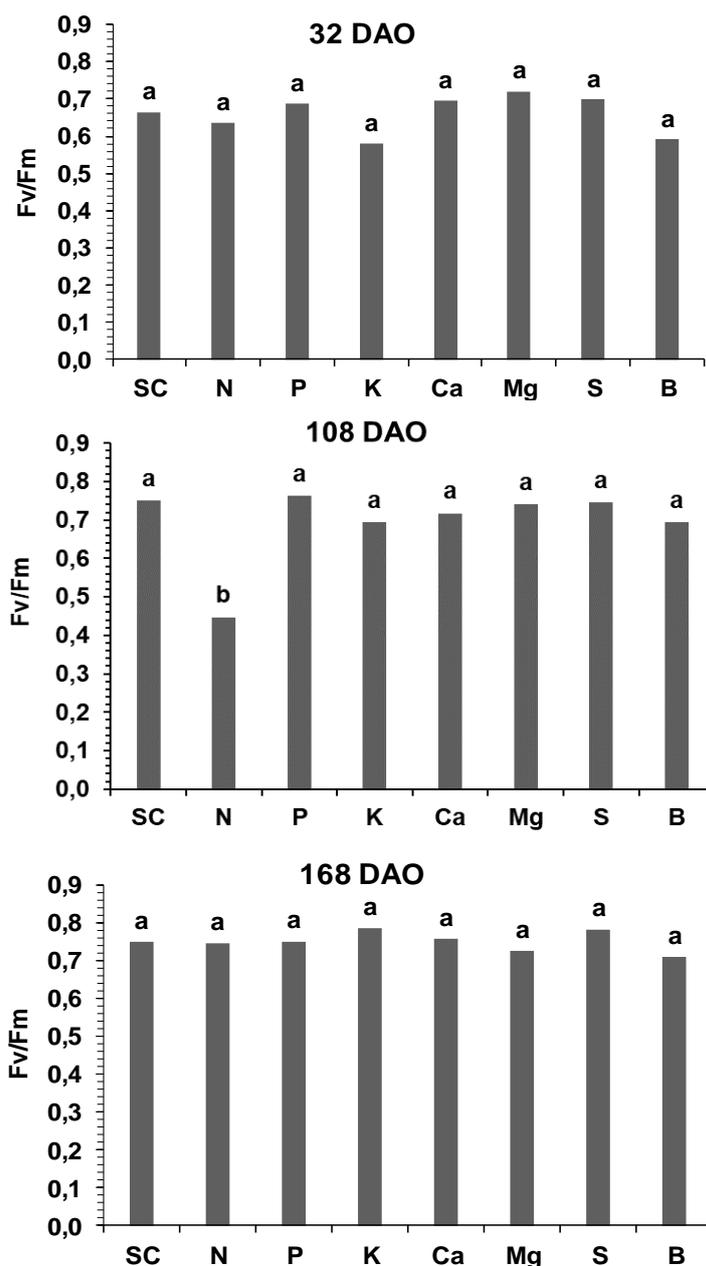


Figura 7. Relação Fv/Fm em folhas novas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro aos 32, 108 e 168 DAO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

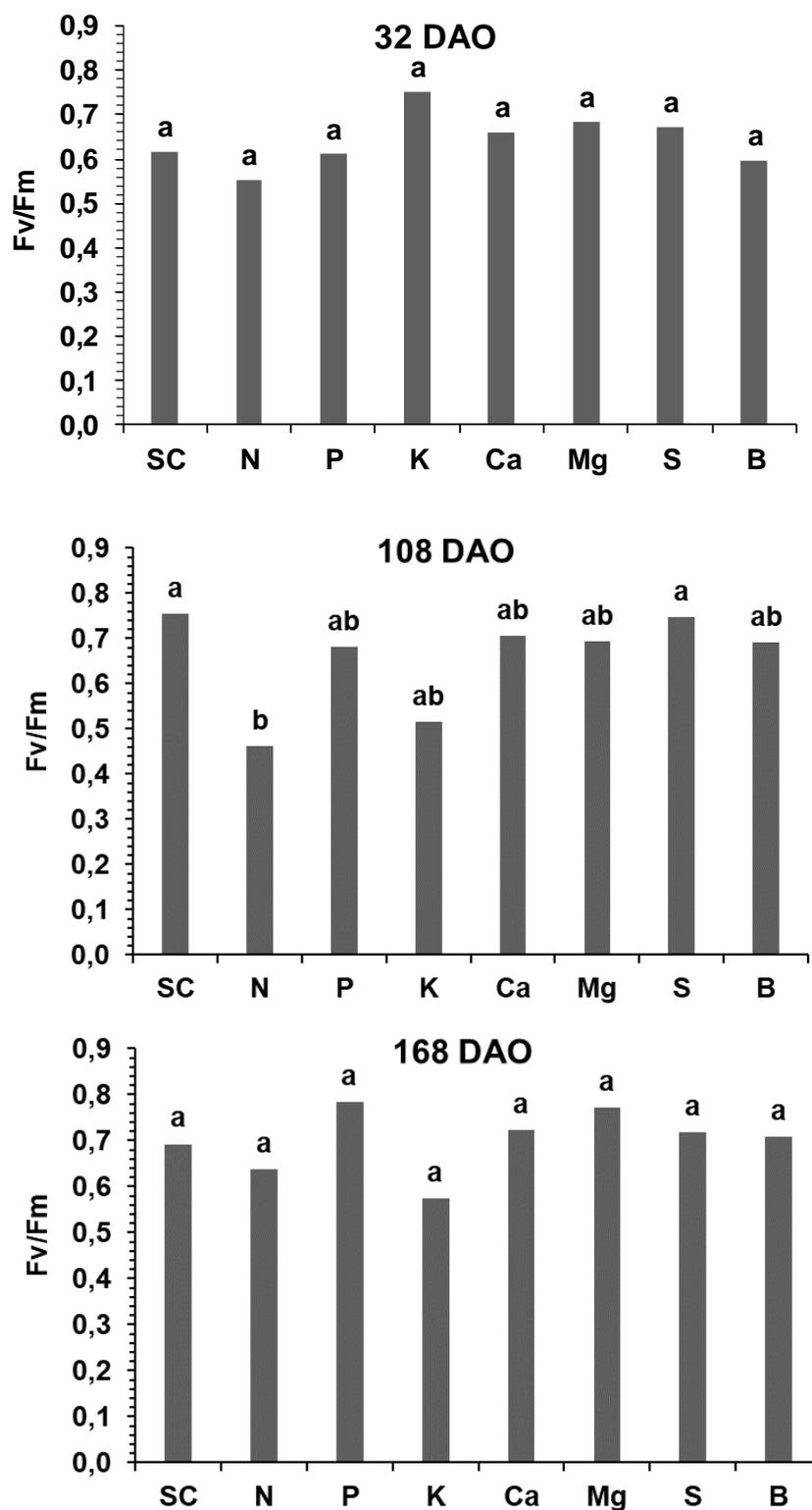


Figura 8. Relação Fv/Fm em folhas velhas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro aos 32, 108 e 168 DAO. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o índice de desempenho fotossintético do PSII (PI_{abs}) em folhas novas e velhas não houve efeito dos tratamentos (Figura 9 e 10).

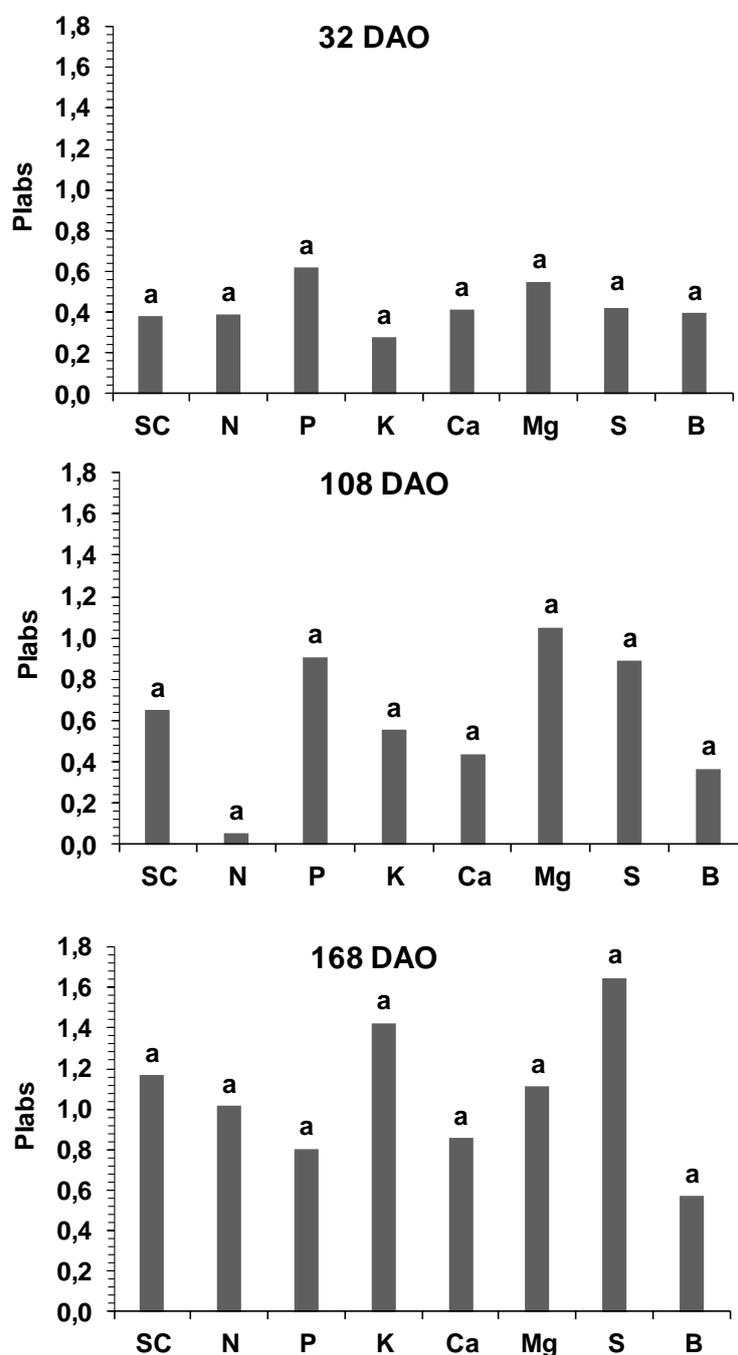


Figura 9. Índice de desempenho fotossintético do PSII (PI_{abs}) de folhas novas de *Paratecoma peroba* após a omissão de macronutrientes e boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

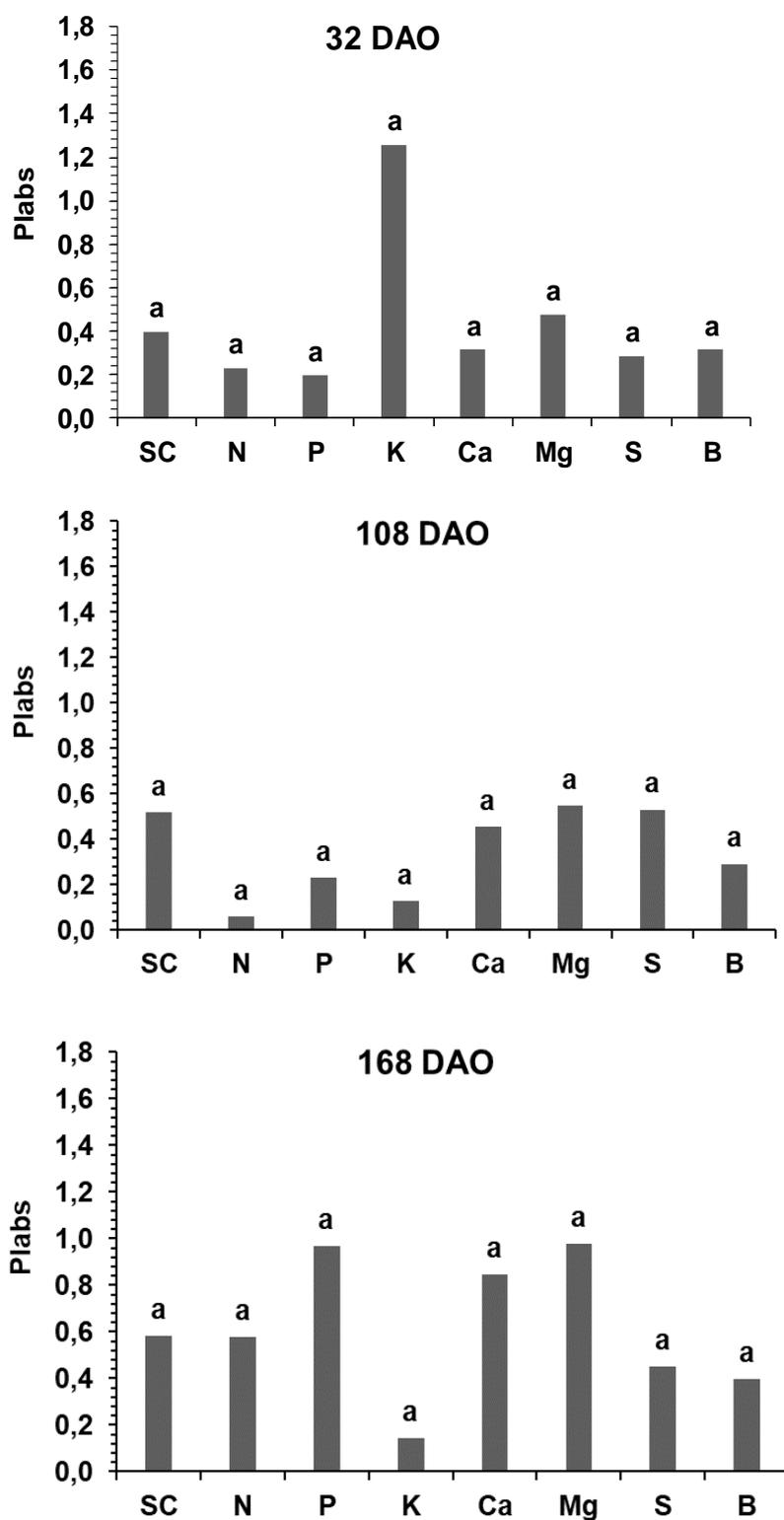


Figura 10. Índice de desempenho fotossintético do PSII (PI_{abs}) de folhas velhas de *Paratecoma peroba* após a omissão de macronutrientes e boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As variáveis relacionadas às trocas gasosas (assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática) e os parâmetros relacionados à fluorescência da clorofila *a* não foram eficientes para indicar a deficiência nutricional das plantas de *P. peroba* antes da sua manifestação visual.

Todavia, reduções do índice de intensidade de verde (SPAD), aumento de flavonoides e antocianinas e reduções do teor de clorofila em folhas novas foram capazes de preceder os sintomas visuais de deficiência de P, K, Ca, Mg e S, enquanto as alterações morfológicas foram manifestadas após a diagnose visual dos sintomas, exceto nas plantas sob supressão de N. Além disso, as variáveis mencionadas mostraram o agravamento da deficiência de N em plantas de *P. peroba* ao longo de 180 dias de omissão (Figura 11).

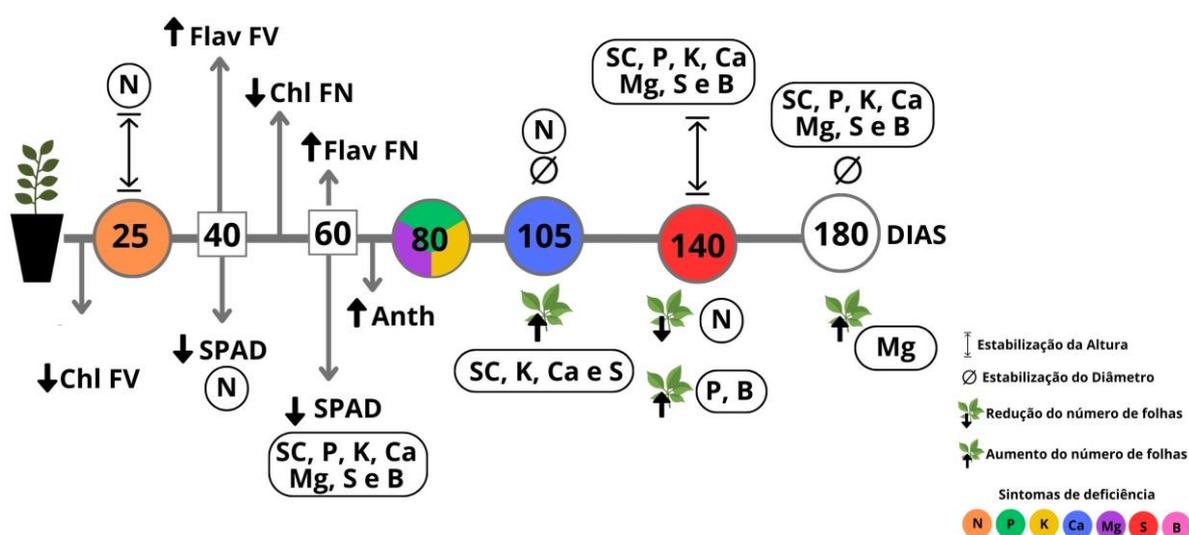


Figura 11. Alterações fisiológicas e morfológicas de plantas de *Paratecoma peroba* sob omissão de macronutrientes e boro por 180 dias. Anth – Antocianina; Chl FV – teor de clorofila em folhas velhas; Chl FN – Teor de clorofila em folhas novas; Flav FN – Flavonoide em folhas novas; Flav FV – Flavonoide em folhas velhas; NBI - índice de nitrogênio equilibrado; SPAD - Índice de intensidade de verde.

Discussão

A omissão de nutrientes até os 32 dias após a omissão de nutrientes (DAO) não ocasionou alterações da taxa fotossintética, da transpiração nem da condutância estomática entre os tratamentos. Já aos 108 DAO foi verificada menor

atividade fotossintética das plantas de *P. Peroba* conduzidas sem N, acompanhada da menor transpiração e menor condutância em relação ao controle, contribuindo para o menor crescimento das plantas. Isso se dá, pois o N participa de processos chave do metabolismo das plantas, tais como a fotossíntese e respiração, uma vez que compõe aminoácidos, proteínas e enzimas, como a RuBisCo, proteínas do fotossistema e moléculas de clorofila (Bang et al., 2021). Resultado semelhante foi observado em mudas de *Cariniana estrellensis*, aos 120 dias (Andrade e Boaretto, 2019) e mudas de *Hymenaea courbaril*, aos 100 dias de omissão (Nascimento et al., 2014). Contudo, este comportamento não se manteve aos 168 DAO, não havendo diferenças para as variáveis de trocas gasosas mencionadas entre o controle e a omissão de N.

Na literatura há poucos trabalhos acerca dos aspectos fisiológicos de *P. Peroba* e nenhum relacionado com a omissão de nutrientes. Para mudas de *P. Peroba* na fase de rustificação, estas apresentaram fotossíntese líquida estimada de $6,45 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Araujo et al., 2020). Entretanto, para obtenção das variáveis mencionadas os autores utilizaram a intensidade luminosa média de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, intensidade descrita como ponto de saturação luminosa para as mudas da espécie nas condições do estudo, mediante curva de luz. Este ponto de saturação luminosa refere-se à quantidade de luz específica que, quando é atingida, não altera mais a taxa fotossintética da planta. Diante disso, como os autores utilizaram $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de fótons a mais do que no presente estudo, é possível que se, nas condições do presente trabalho, maior intensidade de luz fosse empregada nas medições de fotossíntese, as plantas de *P. peroba* viessem a apresentar taxas de assimilação de CO_2 superiores às observadas (2,42, 3,33 e 4,04 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no controle aos 32, 108 e 168 DAO, respectivamente).

Para condutância estomática e transpiração, os mesmos autores obtiveram em média $0,064 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $2,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. A condutância se assemelha à verificada no presente trabalho em todos os tratamentos, exceto nas omissões de K e S aos 168 DAO cujos valores foram superiores, mas a transpiração foi inferior.

Mudanças na concentração de pigmentos fotossintéticos em espécies arbóreas cultivadas em solos com baixa disponibilidade de nutrientes podem

influenciar na quantidade de luz absorvida, podendo afetar diretamente a quantidade de energia disponível para as reações fotoquímicas responsáveis pela produção de biomassa, havendo também redução do rendimento quântico máximo do PSII (Berghetti et al., 2020; Berghetti, 2020).

Além dos métodos destrutivos para quantificação do teor de clorofila, a medição indireta desta variável pode ser realizada por medidores portáteis, que efetuam leituras de forma rápida e não destrutiva. A redução de clorofila dos tecidos foliares pode ser observada, tardiamente, pela diagnose visual através da presença do amarelecimento das folhas (clorose).

Esta perda da coloração verde é resultante da redução da síntese de clorofila e/ou da degradação da mesma via proteólise, fazendo com que haja liberação de aminoácidos, amidas e íons amônio (NH_4^+), os quais são remobilizados na planta via floema (Bang et al., 2021). Essa redução do índice de verde (SPAD) observado em folhas da metade inferior das plantas de *P. peroba* ao longo do tempo indica a remobilização dos nutrientes móveis nas plantas, e em folhas novas caracteriza a deficiência de nutrientes menos móveis nas plantas como o Ca, e em ambos os casos evidencia o agravamento do estresse nutricional.

O índice de nitrogênio equilibrado (NBI), obtido pela relação entre Chl e Flav, indica a deficiência de N na planta, que será maior quanto menor for o seu valor (Fontes, 2016). Assim, a redução dos valores de NBI ao longo do tempo indica o agravamento da deficiência de N nas plantas sob omissão deste nutriente, assim como aponta provável deficiência de N nos demais tratamentos com omissões e no controle.

Dentre os metabólitos secundários produzidos pelas plantas, destacam-se os flavonoides, os quais compõem a classe dos compostos fenólicos, com propriedades antioxidantes, cuja função está relacionada à resposta a estresses biótico e abióticos, com papel protetor contra estresses oxidativos. Com a mesma funcionalidade, estão as antocianinas, consideradas pigmentos vegetais. Esses compostos auxiliam na redução da peroxidação lipídica, protegem as proteínas e enzimas celulares (Chowdhary et al., 2021; Šamec et al., 2021).

O acúmulo das antocianinas pode ser verificado visualmente através da coloração vermelho-arroxeadado no limbo foliar e/ou pecíolo de folhas velhas de

plantas sob deficiência de N e S. Isso ocorre, principalmente, na supressão de P em virtude de um aumento da expressão de genes na via biossintética da antocianina, com o objetivo de evitar a superexcitação e danos ao PSII. Mas, essa sintomatologia não ocorre em todas as espécies de plantas quando expostas à deficiência deste nutriente em questão (Bang et al., 2021).

Desta forma, pode-se concluir que plantas sob deficiência de nutrientes podem ser estimuladas a sintetizar metabólitos, como estratégia adaptativa para proteger seu metabolismo e minimizar os danos causados pelo estresse, como foi observado no presente trabalho ao longo da omissão de nutrientes, tanto nas folhas novas quanto nas folhas velhas de *P. Peroba*, principalmente, em plantas sob supressão de N.

As medições de parâmetros relacionados à fluorescência da clorofila *a* fornecem informações importantes acerca da atividade geral do fotossistema II (PSII). Por isso, tem sido usada para identificar danos ocasionados ao aparato fotoquímico decorrente de estresses abióticos ou bióticos em plantas, uma vez que consiste em uma metodologia não invasiva (Baker, 2008; Woo et al., 2008; Kalaji et al., 2017; Banks et al., 2017).

Para diversas culturas sob condições não estressantes, consideram-se valores de F_v/F_m entre 0,75 e 0,85 como indicadores de ausência de estresse (Strasser, 2000; Strasser et al., 2004). Diante do exposto, os valores observados de F_v/F_m em folhas novas próximos a 0,75 e abaixo nas folhas velhas, nas omissões individuais nos períodos avaliados, indicariam redução da eficiência com que a energia é usada na fase fotoquímica da fotossíntese, comprovando danos do estresse nutricional ao PSII inclusive no controle.

Berghetti (2020) estudando as respostas morfológicas e fisiológicas em plantas de *Handroanthus heptaphyllus* submetidas à adubação com N, P e K no pós-plantio, verificou maior crescimento em doses mais elevadas destes nutrientes, corroborando com os valores mais elevados de F_v/F_m , indicando que a maior parte da energia luminosa estava sendo direcionada à etapa fotoquímica da fotossíntese e assim utilizada na produção de matéria seca. Contudo, para *Apuleia leiocarpa* e *Cordia trichotoma*, em estudos realizados no Sul do Brasil (Aimi et al., 2017; Kelling et al., 2017) e para *Handroanthus heptaphyllus* (Berghetti et al., 2020) valores de

Fv/Fm entre 0,52 e 0,76 foram considerados indicadores de plantas em crescimento e sem estresse.

Deve-se considerar que as diferenças pontuais verificadas em cada tratamento nas avaliações podem ter sido ocasionadas em função da mudança da folha de análise. De acordo com o crescimento das plantas, a folha selecionada para avaliação era modificada para atender a metodologia. No caso das plantas sob supressão de N, como houve queda acentuada das folhas, não foi possível atender aos padrões metodológicos em todas as avaliações, utilizando-se, portanto, as folhas disponíveis, levando ao aumento das variáveis, seguido de sua redução.

A avaliação do índice de intensidade de verde (SPAD), teor de clorofila (Chl), índice de nitrogênio equilibrado (NBI), antocianinas (Anth) e flavonoides (Flav) e dos parâmetros relacionados à fluorescência da clorofila *a* evidenciam o estresse nas plantas causado pela limitação de nutrientes, sendo de rápida e fácil utilização, apesar do custo de aquisição dos equipamentos. Mas, nem todos são capazes de preceder a manifestação dos sintomas visuais.

Além disso, o presente trabalho evidencia a importância da continuação de pesquisas com *P. peroba* e demais espécies florestais, principalmente, para obtenção de resultados mais robustos para elaboração de recomendações de adubações no viveiro e no campo.

Conclusões

A omissão de macronutrientes e boro alterou negativamente as variáveis fisiológicas analisadas em plantas de *Paratecoma peroba*, antecedendo a clorose e as alterações morfológicas. Dentre os nutrientes em omissão, a supressão de N ocasionou reduções mais severas do índice de nitrogênio equilibrado, do índice de verde e do teor de clorofila, com conseqüente aumento de flavonoides e antocianinas, assim como menor taxa fotossintética.

Referências bibliográficas

- Aimi SC, Araujo MM, Silva Tonetto T da, Tabaldi LA, Saldanha CW, Farias JG, de Oliveira GG (2017) Shading as a conditioning factor to forest species planting: a study with *Apuleia leiocarpa*. *Bosque, Valdivia*, 38(2):371–379.
- Aquino S, Santos RFD, Batista KD (2019) Nutritional deficiency symptoms of young 'cedro doce' plants grown under macronutrient omission. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23:264-270.
- Andrade MLF de, Boaretto AE (2019) Deficiência de macronutrientes em *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze. *Ciência Florestal*, 29(2):811-823.
- Araujo M M, Navroski MC, Schorn LA, Tabaldi LA, Rorato DG, Turchetto F, Lima MS (2018) Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. In: Araujo MM, Navroski, MC, Schorn LA, Produção de sementes e mudas um enfoque à silvicultura.1. ed. Santa Maria: Editora UFSM, p. 345–365.
- Araújo EF, Gonçalves EDO, Santos ARD, Gibson EL, Caldeira MVW, Pezzopane JEM (2020) Controlled release fertilizer in the rooting and performance of clones of *Paratecoma peroba*. *Cerne*, 26(2):202-211.
- Bang TC de, Husted S, Laursen KH, Persson DP, Schjoerring JK (2021) The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229(5)2446-2469.
- Baker N R (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1): 89–113.
- Banks JM (2017) Continuous excitation chlorophyll fluorescence parameters: a review for practitioners. *Tree Physiology*, 37(8)1128-1136.
- Berghetti ALP, Araujo MM, Tabaldi LA, Turchetto F, Aimi SC, Rorato DG, Brunetto G (2020) Morphological, physiological and biochemical traits of *Cordia trichotoma* submitted to the application of phosphorus and presence of water- retaining polymer. *Journal of Forestry Research*, 32:855-865.

Berghetti ALP (2020) Uso da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica em plantios de *Handroanthus heptaphyllus*: uma abordagem silvicultural e fisiológica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

Bittencourt RFP de M, da Silva Júnior ML, Sampaio IMG, da Silva Chagas E, Costa, VCN, Coelho AD, Assunção RDV da (2020) Morphological response and nutritional deficiency symptoms in ipe seedlings (*Tabebuia serratifolia*). Brazilian Journal of Development, 6(10):83619-83634.

Blind MR, Costa KCPD, Silva CEMD, Sampaio PDTB, Gonçalves JFDC (2018) Fotossíntese de espécies de Aniba em resposta à exposição a ambientes contrastantes de luz. Rodriguésia, 69:397-407.

Bolles Jones E W (1954) Nutrition of *Hevea brasiliensis* I. Experimental methods. Journal Rubber Research International Malaya, 14:183.

Campoe OC, Iannelli C, Stape JL, Cook RL, Mendes JCT, Vivian R (2014) Atlantic Forest tree species responses to silvicultural practices in degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. Forest Ecology and Management, Amsterdam, 313:233–242.

Conceição A (2021) Adubação Fosfatada no Crescimento em campo de Plantas Propagadas por Miniestaquia de Paratecoma peroba. Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro.

Chowdhary V, Alooparampil S, Pandya RV, Tank JG (2021) Physiological function of phenolic compounds in plant defense system. Phenolic Compounds-Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications.

Cunha FL, Almeida RS de, Diniz PC, Paula SHA de, Campos VA, Venturin N (2023) Crescimento inicial e nutrição mineral de espécies florestais com potencial econômico sob omissão de nutrientes. Advances in Forestry Science, 10(1):949-1957.

Epstein E, Bloom, AP (2006) Princípios e perspectivas. Londrina. editora planta. 402 p.

Flora do Brasil. *Paratecoma peroba* (Record) Kuhlm. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB114203>. Acessado em 08/05/2023.

Fontes PCR (2016) Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnose. Viçosa, MG: Editora UFV, 315 p.

Hoffmam WR, Silva AA da, Nogueira DWR, Prudencio G de A (2019) Resposta a adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva. *Scientia Naturalis*, 1(5):23-34.

Kalaji HM, Schansker G, Brestic M, Bussotti F (2017) Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynthesis Research*, 132(1):13-66.

Kalaji MH, Goltsev VN, Žuk-Golaszewska K, Zivcak M, Brestic M (2017) Chlorophyll fluorescence: understanding crop performance - basics and applications. Boca Raton: CRC Press, p. 236.

Kelling MB, Araujo MM, León EB, Aimi SC, Turchetto F (2017) Regímenes de riego y dosis de polímero hidroretenedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*. *Bosque Valdivia*, 38(1):123–13.

Lima MSde, Araujo MM, Aimi SC, de Oliveira VV, Berghetti AL, Nascimento NF, Tarouco CP (2021) Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 501:119659.

Lins BLA, Nascimento MT (2010) Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma Floresta Estacional Semidecidual do Norte Fluminense, Brasil. *Rodriguésia*, 61(3):559-568.

Lorenzi H (2009) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3th ed. Nova Odessa: *Plant Institute*, 384p.

Martinelli G, Moraes MA (2013) Livro Vermelho da Flora do Brasil. Centro Nacional de Conservação da Flora, 1102 p.

Mondini DPS, Santiago EF, Daniel O, Silva JV, Francisco NS (2019) Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* sp sob diferentes concentrações de potássio. *Agrarian*, 12(43):40-47.

Nascimento HHC do, Pacheco CM, Lima DRM de, Silva EC da, Nogueira RJMC (2014) Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. *Sci. For.*, 42(103):315-328.

Paradizo IC, Macieira BPB, Gama VN, Zanetti LV, Cuzzuol GRF (2015) A plasticidade fenotípica como indicador de arbóreas não pioneiras mais tolerantes à elevada irradiância. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(84)359-369.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Viena (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

Rorato DG, Araújo MM, Tabaldi LA, Turchetto F, Berghetti ALP, Griebeler AM, Aimi SC (2018) Silvicultura com espécies florestais nativas mediante o plantio de mudas: Uma experiência em áreas ripárias no Sul do Brasil. In: Araujo MM, Navroski, MC, Schorn LA (Eds.). *Produção de Sementes de Mudas*. 1. ed. Santa Maria: Editora UFSM, p. 368–382.

Šamec D, Karalija E, Šola I, Vujčić Bok V, Salopek-Sondi B (2021) The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, 10(1):118.

Silva AAda, Delatorre C.A (2009) Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 8(2):152-163.

Silva AA, Schlindwein JA (2018) Limitação nutricional e crescimento de plantas de ipê-roxo em latossolo amarelo distrófico na omissão de nutrientes. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 5(2):154-166.

Sousa FFD, Braga RM, Venturin N, Macedo, RLG, Carlos L, Venturin RP (2018) Exigências nutricionais de mudas de *Dipteryx alata* sob limitação nutricional. *Ciência Florestal*, 28:102-114.

Strasser RJ, Srivastava A, Tsimilli-Michael M (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*, 445–483.

Strasser RJ, Tsimilli-Michael M, Srivastava A (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou GC, Govindjee (Eds.): *Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis*. Netherlands: Springer, 19: 321–362.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. *Artmed Editora*.

Teixeira PC, Gonçalves JLM, Arthur Junior JC, Dezordi C (2008) Eucalyptus sp. Seedling response to potassium fertilization and soil water. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 18(1): 47-63.

Woo NS, Badger MR, Pogson BJ (2008) A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. *Plant Methods*, 4(1): 27.

CONCLUSÕES

As principais conclusões foram:

- Plantas de *P. peroba*, sob omissão de macronutrientes e boro por 180 dias, com exceção do B manifestaram sintomas de deficiência na seguinte ordem $N > P = K = Mg > Ca > S$;
- N foi o nutriente suprimido que mais limitou o crescimento da espécie e o que mais resultou em alterações negativas dos parâmetros fisiológicos avaliados, apresentando menor taxa fotossintética em relação ao controle e demais omissões;
- Alterações das variáveis fisiológicas precedem as alterações morfológicas em plantas de *P. peroba*;
- Reduções do índice de intensidade de verde (SPAD) e do NBI, aumento de flavonoides e antocianinas e do teor de clorofila precedem os sintomas visuais de deficiência de P, K, Ca, Mg e S.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu KMP, Braga JMA, Nascimento MT (2014) Tree species diversity of coastal lowland semideciduous forest fragments in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30(5):1529 – 1550.

Andrade MLF de, Boaretto AE (2012) Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Sci. For.*, Piracicaba, 40(95):383-392.

Andrade MLFD (2010) Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras. Dissertação. Universidade de São Paulo.

Andrade MLF de, Boaretto AE (2019) Deficiência de macronutrientes em *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze. *Ciência Florestal*, 29(2):811-823.

Aquino FG, Walter BMT, Ribeiro JF (2007) Espécies vegetais de uso múltiplo em reservas legais de cerrado - Balsas, MA. *Revista Brasileira de Biociências*, 5:147-149.

Bang TC de, Husted S, Laursen KH, Persson DP, Schjoerring JK (2021) The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229(5):2446-2469.

Bariola PA, Macintosh GC, Green PJ (1999) Regulation of S-like ribonuclease levels in *Arabidopsis*. Antisense inhibition of RNS1 or RNS2 elevates anthocyanin accumulation. *Plant Physiology* 119:331–342.

Barroso DG, Assis FAMM de, Pereira, RC de, Mendonça AVR, Silva, LC da (2005) Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de teca. *Revista árvore*, 29(5):671-679.

Berghetti ALP, Araujo MM, Tabaldi LA, Turchetto F, Aimi SC, Rorato DG, Brunetto G (2020) Morphological, physiological and biochemical traits of *Cordia trichotoma* under phosphorous application and a water-retaining polymer. *Journal of Forestry Research*, 1:11.

Berghetti ALP, Araujo MM, Tabaldi LA, Aimi SC, Tonetto TDS, Turchetto F, Brunetto G (2020) Morphological and physiological parameters in young plants of *Cordia trichotoma* submitted to the application of phosphorus in the soil. *Revista Árvore*, 44:1-10.

Bessa LA, Silva FG, Moreira MA, Teodoro JPR, Soares FAL (2013) Caracterização de deficiência nutricional de mudas de Mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) com omissão de micronutrientes em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:616-624.

Bittencourt RFP de M, Silva Júnior ML da, Sampaio IMG, Chagas, E da S, Costa VCN, Coelho AD, da Assunção, RDV (2020) Morphological response and nutritional deficiency symptoms in ipe seedlings (*Tabebuia serratifolia*). *Brazilian Journal of Development*, 6(10):83619-83634.

Bolles Jones EW (1954) Nutrition of *Hevea brasiliensis* I. Experimental methods. *Journal Rubber Research International Malaya*, 14:183.

Brasil (2014). Ministério do Meio Ambiente. Lista de espécies madeiras comerciais ameaçadas de extinção. snif.florestal.gov.br. Acessado em 26/11/2020.

Brasil (2022). Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022, Decreto n.º 1234, de 19 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a estrutura em relação ao regime do Ministério da Educação. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 123(123):12345. 2o dez. 2021. Seção 2, pt. 3. https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2020/P_mma_148_2022_altera_anexos_P_mma_443_444_445_2014_atualiza_especies_ameacadas_extincao.pdf. Acessado em 05/01/2024.

Bredemeier C, Mundstock CM (2000) Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, 30:365-372.

Camacho MA, Camara AP, Zardin AR (2014) Diagnose visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. *Cerne*, 20(3):427-431.

Carlos L, Venturin N, Macedo RLG, Higashikawa EM (2013) Crescimento e nutrição mineral de mudas de barbatimão sob efeito da omissão de nutrientes. *Floresta*, 43(4):569-578.

Centro Nacional de Conservação da Flora (CNC Flora). *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2. [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Acessado em 08/07/2019.

CNC Flora. *Apuleia leiocarpa* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Apuleia leiocarpa](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Apuleia%20leiocarpa). Acessado em 10/11/2020.

Corcioli G, Borges JD, Jesus RP de (2014) Sintomas de deficiência nutricional de macronutrientes em mudas de *Khaya ivorensis* cultivadas em solução nutritiva. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 34(78):159-164.

Cunha FL, Almeida RS de, Diniz PC, Paula SHA de, Campos VA, Venturin N (2023) Crescimento inicial e nutrição mineral de espécies florestais com potencial econômico sob omissão de nutrientes. *Advances in Forestry Science*, 10(1):949-1957.

Epstein E, Bloom AP (2006) Princípios e perspectivas. *Editora planta*, Londrina. 402 p.

Faquin V (2005) Nutrição Mineral de Plantas - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA / FAEPE. http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acessado em 21/10/2020.

Fontes P C R (2016) Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnose. *Editora UFV*, Viçosa – MG. 315 p.

Flora do Brasil. *Paratecoma peroba* (Record) Kuhl. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB114203>. Acessado em 08/10/2020.

Freiberger MB, Guerrini IA, Galetti G, Fernandes DM, Corrêa JC (2013) Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. *Revista Árvore* 37:385-392.

Guedes MGM, Silva Júnior ML, Silva GR, Silva ALP, Lima Júnior JA (2011) Produção de matéria seca em mudas de copaíba cultivadas em Latossolo Amarelo, textura média, sob omissão de nutrientes. *Enciclopédia Biosfera*, 7(12):1-14.

Hoffmam WR, Silva AA da, Nogueira DWR, Prudencio, G de A (2019) Resposta a adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva. *Scientia Naturalis*, 1(5).

Hoagland DR, Arnon DI (1950) *The water culture method of growing plants without soil*. Berkeley: University of California. 32p.

Kerbauy GB (2004) *Fisiologia Vegetal*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

Lins BLA, Nascimento MT (2010) Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma Floresta Estacional Semidecidual do Norte Fluminense, Brasil. *Rodriguésia*, 61(3):559-568.

Lorenzi H (2000) *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. v.1, 3ª ed. Nova Odessa, SP: *Instituto Plantarum*.

Maia JTLS, Bonfim FPG, Guanabens REM, Trentin R, Martinez HEP, Pereira PRG, Fontes PCR (2014) Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. *Revista Ceres*, 61(5):723-731.

Mageste JG, Milagres VAC, Durães TM (2022) *Eucalyptus* growth and initial productivity in response to different sources of boron. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 9:96-103.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p.

Maldonado-Cortés CN, Beltrán-Peña E, López-Bucio J, Macías-Rodríguez LI (2015) Regulación genética y fisiológica del desarrollo de los pelos radiculares. *Ciencia Nicolaita*, 66:62-83.

Marques TCLL de SM, Carvalho JG de, Mota PEF da, Coelho MLP (2004) Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. *Cerne*, 10(2):184-195.

Mendonça AVR, Nogueira FD, Venturin N, Souza JS (1999) Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (aroeira do sertão). *Cerne*, Lavras, 5(2):65-75.

Moretti B da S, Neto AEF, Pinto SI do C, Furtini, IV, Magalhães, CA de S (2011) Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, 17(4):453-463.

Nascimento HHC do, Pacheco CM, Lima DRM de, Silva EC da, Nogueira RJMC (2014) Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 42(103):315-328.

Oliveira DPD (2012) Mudas de Timburi e Chico-magro submetidas à omissão de macronutrientes. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso.

Paradizo IC, Macieira BPB, Gama VN, Zanetti LV, Cuzzuol GRF (2015) A plasticidade fenotípica como indicador de arbóreas não pioneiras mais tolerantes à elevada irradiância. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(84):359-369.

Reis ARD, Furlani Junior E, Buzetti S, Andreotti M (2006) Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, 65(1):163-171.

Salazar-Henao JE, Schmidt W. (2016) An inventory of nutrient-responsive genes in *Arabidopsis* root hairs, *Front. Plant Sci.* 7:237.

Santos NJRD (2016) Níveis de nitrogênio e potássio: efeitos sobre a nutrição e crescimento inicial de *Cordia alliodora* (Ruiz e Pav.) Oken. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas.

Sarcinelli TS, Ribeiro Jr ES, Dias LE, Lynch LDS (2004) Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*, 28(2):173-181.

Sarruge JR (1975) Soluções nutritivas. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, 1(3):231-233.

Silva JCS (2007) Desenvolvimento inicial de espécies lenhosas, nativas e de uso múltiplo na recuperação de áreas degradadas de cerrado sentido restrito no Distrito Federal. Dissertação. Universidade de Brasília.

Silva WG, Tucci CA, Hara FAS, Santos RAC (2007) Efeito de micronutrientes sobre o crescimento de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em Latossolo Amarelo. *Acta Amazonica*, Manaus, 37(3):371-376.

Silva RCBD, Scaramuzza WLMP, Scaramuzza JF (2011) Sintomas de deficiências nutricionais e matéria seca em plantas de nim, cultivadas em solução nutritiva. *Cerne*, 17(1):17-22.

Silva AA, Schlindwein JA (2018) Limitação nutricional e crescimento de plantas de ipê-roxo em Latossolo Amarelo Distrófico na omissão de nutrientes. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 5(2):154-166.

Silva R de D (2019) Miniestaquia de *Paratecoma peroba* (Record) Kuhl.: capacidade de enraizamento e utilização de brassinosteróide. Dissertação. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Silveira RLVA, Moreira A, Takashi EN, Sgarbi F, Branco EF (2002) Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, Lavras, 8(2):107 - 116.

Silveira RLVDA, Casarin V, de Andrade e Paula T, Silveira RI (2024) Nutrição e Adubação com Boro em *Eucalyptus*, RR Agroflorestal, vol. 1, pp. 1–31. <http://www.rragroflorestal.com.br/images/downloads/103.pdf>. Acessado em 15/01/2024.

Smiderle OJ, Souza AG, Chagas EA, Souza MA, Fagundes PRO (2016) Growth and nutritional status and quality of *Khaya senegalensis* seedlings. *Revista Ciências Agrárias*, 59(1):47-53.

Sorreano MCM (2006) Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas. Tese. Universidade de São Paulo.

Sorreano MCM, Malavolta E, Silva DH da, Cabral CP, Rodrigues RR (2011) Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água. *Cerne*, Lavras, 17(3):347-352.

Sousa FFD, Braga RM, Venturin N, Macedo RLG, Carlos L, Venturin RP (2018) Exigências nutricionais de mudas de *Dipteryx alata* sob limitação nutricional. *Ciência Florestal*, 28:102-114.

Taiz L, Zeiger E (2004) *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: *Artmed*, 719 p.

Taiz L, Møller IM, Murphy A (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. *Artmed Editora*.

Valeri SV, Pizaaia LGE, Sá AFLD, Cruz MCPD (2014) Efeitos da omissão de nutrientes em plantas de *Caesalpinia echinata*. *Cerne*, 20(1):73-80.

Vieira CR (2011) Crescimento inicial de espécies florestais na omissão de macronutrientes. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso. 61 f.

Vieira CR, Leite FAP, Weber OL dos S, Scaramuzza JF (2017) Estudo comparativo de metodologias de preparo de soluções nutritivas no crescimento de mudas de paricá. *Ambiência*, 13(2):373-392.

Vieira CR, Oliveira DP de, Weber OL dos S (2015) Omissão de macronutrientes no crescimento e deficiência nutricional de mudas do vinhático (*Plathymenia reticulata*). *Revista Biociências*, 21(2):74-85.

Vieira CR, Weber OL dos S, Scaramuzza JF (2016) Omissão de macronutrientes no crescimento inicial de *Tabebuia ochraceae*. *Ambiência Guarapuava*, 12(4):869-883.

Vieira CR, Costa PP da, Botelho R da, Silva RNZ (2022) Doses de Boro no Crescimento Inicial de Mudanças de *Tabebuia impetiginosa*. Uniciências, 26(1):37-41.

Viégas IDJM, Thomaz MAA, Silva JFD, Conceição HEOD, Naiff APM (2004) 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, 26(2):315-319.

Villela DM, Nascimento MT, Aragão LEOC, Gama DM (2006) Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. Journal of Biogeography, 33:506 – 516.

Wallau RLR de, Borges AR, Almeida DR de, Camargo SL (2008) Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. Cerne, 14(4):304-310.

APÊNDICE

OMISSÃO DE NUTRIENTES EM *Paratecoma peroba*

Figura 1. Plantas de *Paratecoma peroba* que receberam solução completa (SC) e plantas sob omissão de nitrogênio (-N) aos 25, 80 e 180 dias após a omissão de nutrientes (DAO).

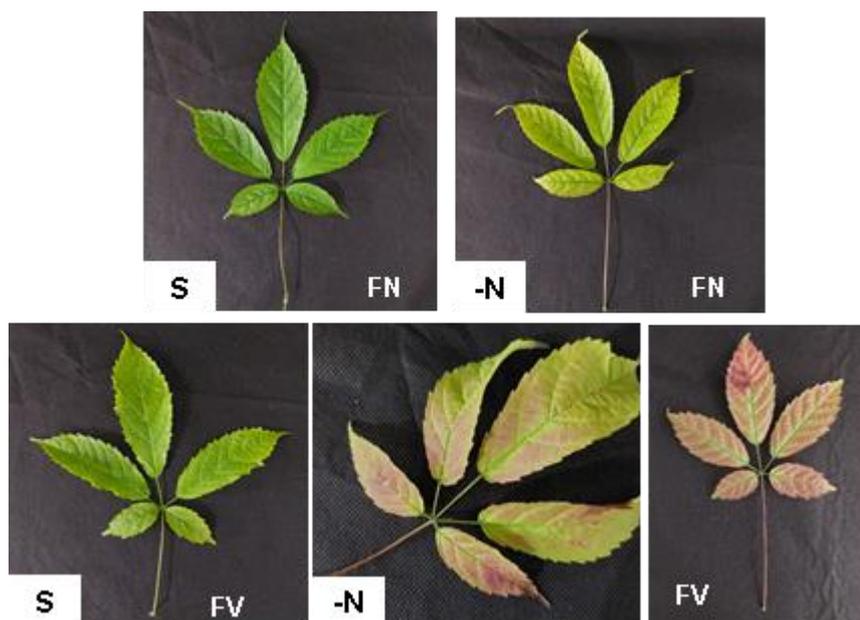


Figura 2. Detalhe da coloração avermelhada/arroxeadada das folhas novas (FN) e velhas (FV) de plantas de *Paratecoma peroba* que receberam solução completa (SC) e plantas sob omissão de nitrogênio (-N) aos 80 DAO.



Figura 3. Detalhe sistema radicular de plantas de *Paratecoma peroba* que receberam solução completa (SC) e plantas sob omissão de nitrogênio (-N) aos 180 dias.

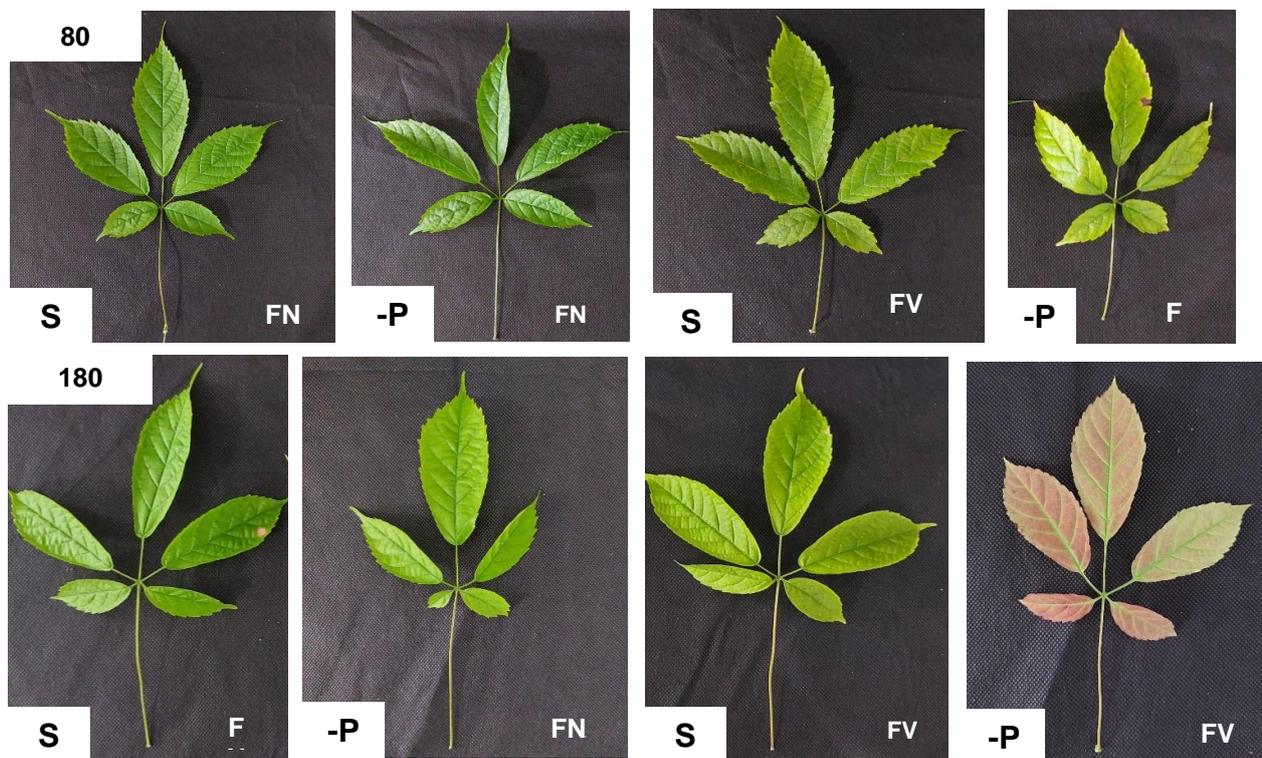


Figura 4. Comparação entre folhas velhas (FV) e folhas novas (FN) de plantas de *Paratecoma peroba* sob omissão de fósforo (-P) e das que receberam solução completa (SC) aos 80 e 180 DAO.



Figura 5. Detalhe do murchamento, pontuações avermelhadas e necrose das pontas das folhas velhas de *Paratecoma peroba* sob omissão de potássio (-K) aos 180 DAO.



Figura 6. Planta de *Paratecoma peroba* aos 180 dias da omissão (DAO) de cálcio (-Ca), folhas novas com má formação aos 105 DAO e clorose e coloração arroxeada de folhas próximas ao ápice aos 180 DAO.

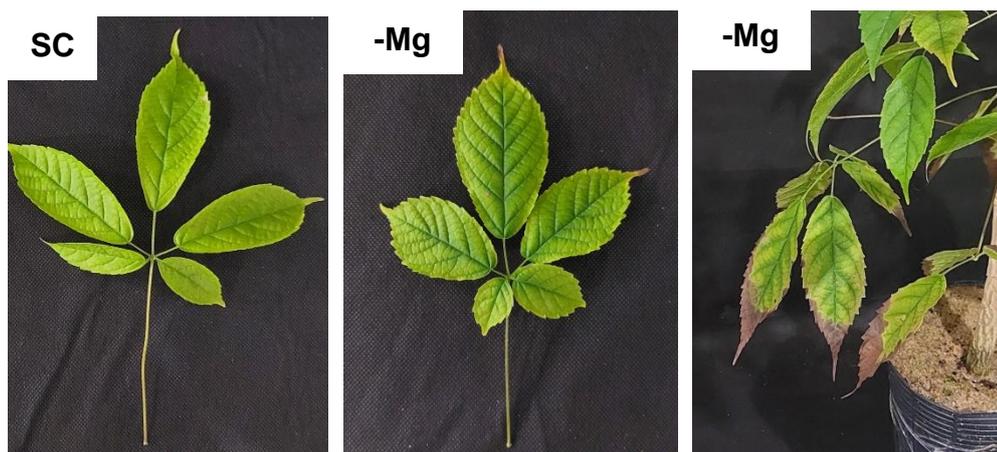


Figura 7. Detalhe da clorose internerval e necrose das pontas em folhas velhas (FV) de plantas *Paratecoma peroba* sob omissão de magnésio (-Mg) aos 180 DAO.

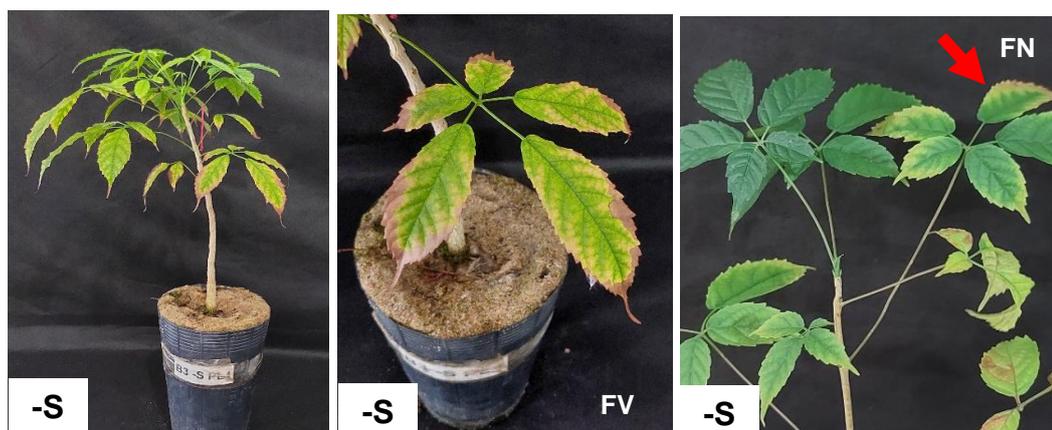


Figura 8. Detalhe da clorose e necrose da borda das folhas velhas (FV) e novas (FN), de plantas *Paratecoma peroba* sob omissão de enxofre (-S) aos 180 DAO.



Figura 9. Plantas de *Paratecoma peroba* que receberam solução completa (SC) e sob omissão de boro (-B) aos 180 DAO, com detalhe das folhas velhas (FV) com coloração arroxeada.