

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA**

ERIVALDO PLINIO BORGES DA COSTA JUNIOR

Efeitos dos conteúdos de molibdênio da semente no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural

São Luís- MA

2019

ERIVALDO PLINIO BORGES DA COSTA JUNIOR

Engenheiro Agrônomo

Efeitos dos conteúdos de molibdênio da semente no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão com o objetivo de obter o título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

São Luís- MA

2019

Costa Júnior, Erivaldo Plínio Borges da.

Efeitos dos conteúdos de molibdênio da semente no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural / Erivaldo Plínio Borges da Costa Júnior. – São Luís, 2019.

57 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Nitrogênio. 3. Área foliar específica
4. Fotossíntese. 5. semente rica em molibdênio. I. Título

CDU: 633.33-181.095.337

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**

ERIVALDO PLINIO BORGES DA COSTA JUNIOR

Efeitos dos conteúdos de molibdênio da semente no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural

Aprovado em: 04 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Heder Braun (Orientador)

Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz (Membro)

Prof. Dr. João Batista Zonta (Membro)

**São Luís – MA
2019**

Dedicatória

Aos meus pais e minha irmã por transmitirem segurança e esforços incondicionais para a minha formação profissional.

Agradecimentos

A Deus por me conceder o dom da vida e inspiração diante das dificuldades nessa jornada, fazendo-se sempre presente.

Aos meus pais, Maria de Fátima Oliveira da Costa e Erivaldo Plínio Borges da Costa, pelo incentivo, confiança, amor, dedicação, respeito e sabedoria, responsáveis por concretizar os planos de Deus.

À minha irmã, Brenda Oliveira da Costa, por suas contribuições, paciência e conforto durante o seguimento deste curso.

À minha namorada, Maria Ferreira da Silva Neta, por sua paciência, incentivo, suporte, conselhos e insistência durante o seguimento deste curso.

Ao professor Dr. Heder Braun, pelos ensinamentos, confiança, paciência, dedicação, disponibilidade e orientação.

Aos professores desta instituição que contribuíram para a complementação da minha formação profissional.

Aos meus amigos do curso de pós-graduação e de convivência acadêmica, pela amizade, superação, união, determinação, alegria, sabedoria, dedicação, compreensão.

Aos meus amigos de infância, Thyago Araújo Ferreira, Eltton Gaspar da Silva, Eduardo Leite, Éder Freire, Elvis Gaspar da Silva, Edilson Francisco da Silva Júnior por acreditarem, apoiarem, confiarem e ajudarem na realização desta etapa importante da minha formação profissional.

Aos integrantes do grupo de pesquisa de Sistemas de Produção Agroecológicos.

Aos funcionários desta Instituição, por ajudarem e contribuírem para o meu aprendizado.

À Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, por promover esse curso de Pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior - CAPES pela concessão da minha bolsa de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão-FAPEMA por dar suporte em eventos acadêmicos, produção científica e recursos financeiros para a execução dos projetos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica aos estudantes de graduação e recursos financeiros para a execução dos projetos.

“Siga o conselho do seu próprio coração, porque mais do que este ninguém será fiel a você. 14 A alma do homem frequentemente o avisa melhor do que sete sentinelas colocadas em lugar alto. 15 Além disso tudo, peça ao Altíssimo que dirija seu comportamento conforme a verdade”.

(Ec 37:13)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO GERAL	11
1.0 INTRODUÇÃO	12
2.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Importância socioeconômica do feijão-caupi	14
2.2 Nitrogênio para as plantas.....	14
2.3 Importância do molibdênio nas reações fisiológicas da planta.....	16
2.4 Sementes enriquecidas com molibdênio na ecofisiologia da planta.....	17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO II.....	24
EFEITO DO CONTEÚDO DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE NO POTENCIAL FOTOSSINTÉTICO DAS PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI CULTIVADAS EM SOLOS COESOS DE BAIXA DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL	24
RESUMO.....	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	28
Produção de sementes	28
Experimento de campo em São Luís-MA	28
Tratamentos e delineamento experimental em São Luís- MA.....	29
Instalação e condução do experimento em São Luís- MA	30
Características avaliadas	30
Análises estatísticas	32
RESULTADOS	32
DISCUSSÃO	36
CONCLUSÃO.....	40
AGRADECIMENTOS	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXO.....	47

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Visão geral do experimento na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Campus de São Luís – MA..... 28
- Figura 2.** Precipitação e temperatura mínima e máxima durante o ano de 2018, em São Luís - MA 29
- Figura 3.** Efeito dos conteúdos de Mo da semente dentro da dose de N sobre a assimilação fotossintética em base de área (A) e em base de massa (B), eficiência instantânea do uso da água (C) e área foliar específica (D). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio padrão. 34
- Figura 4.** Efeito dos conteúdos de Mo da semente dentro de dose de N sobre o teor de N na folha (A), eficiência fotossintética do uso do N (B), massa da planta seca (C) e eficiência fisiológica (D). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio padrão. 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de P para o conteúdo de Mo da semente (CMoS), doses de N e a interação entre esses fatores sobre a assimilação fotossintética de CO_2 em base de área ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), assimilação fotossintética de CO_2 em base de massa ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ MS s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$), área foliar específica ($\text{m}^{-2} \text{ kg}^{-1}$), teor de N na foliar (g m^{-2}), eficiência fotossintética do uso do N ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ N s}^{-1}$), massa da planta seca (kg ha^{-1}), eficiência fisiológica (kg kg^{-1}), rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), razão do carbono na câmara subestomática e carbono externo (Ci/Ca), condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) e índice de colheita (IC) 33

Tabela 2 Efeito dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) e das doses de N no rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), razão entre a concentração interna e ambiente de CO_2 (Ci/Ca), condutância estomática (gs), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e índice de colheita (IC).. 36

RESUMO GERAL

O uso de sementes ricas em molibdênio (Mo) pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência fotossintética do uso do nitrogênio (EFUN, capacidade fotossintética por unidade de N na folha) e o crescimento das plantas de feijão-caupi. As sementes ricas em Mo pode aumentar a eficiência fotossintética do uso do nitrogênio e o crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solo coeso de baixa fertilidade natural. Objetivou-se avaliar os efeitos dos conteúdos de Mo da semente na eficiência fotossintética do uso do N e no crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solo coeso de baixa fertilidade natural. Foram usadas sementes colhidas da primeira colheita da cultivar BRS Guariba com três conteúdos de Mo, produzidas em Viçosa-MG. Em esquema fatorial, os tratamentos foram combinados com três conteúdos de Mo da semente ($0,014 \pm 0,005$; $0,674 \pm 0,151$ ou $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g Mo semente}^{-1}$) e duas doses de N (0 ou 60 kg ha^{-1}). Foi usado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Metade da dose de 60 kg ha^{-1} foi aplicada no sulco de plantio e metade foi aplicada em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). As plantas foram irrigadas por gotejamento para complementar as chuvas. Na fase R2 e no período de 8:00 às 10:00 foram avaliadas Fv/Fm, trocas gasosas (assimilação fotossintética de CO_2 , razão Ci/Ca, condutância estomática e taxa transpiratória), eficiência instantânea e intrínseca do uso da água, teor de N na folha, área foliar específica, eficiência fotossintética do uso do N, massa da planta seca, índice de colheita e eficiência fisiológica. Com N, os conteúdos de Mo não influenciaram assimilação fotossintética de CO_2 em base de área, assimilação fotossintética de CO_2 em base de massa, EFUN e teor de N na folha. Sem N, as médias da assimilação fotossintética de CO_2 em base de área e em base de massa, a EFUN e o teor de N na folha nas plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$ foram, respectivamente, 45,8%, 57,5%, 44,2% e 23,6% maiores que as das plantas originadas de semente com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$. Os conteúdos de Mo da semente e as doses de N não influenciaram o índice de colheita. Nossos resultados sugerem que sementes ricas em Mo aumentam a eficiência fotossintética do uso do N e o crescimento das plantas do feijão-caupi cultivado em solos coesos com baixa fertilidade natural quando não é fornecido N às plantas; por outro lado, não influenciam o índice de colheita.

Palavras chave: *Vigna unguiculata*, nitrogênio, área foliar específica, fotossíntese, semente rica em molibdênio.

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo produtor mundial de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), com produção anual de aproximadamente 3 milhões de toneladas (FAO, 2019). O cultivo do feijão-caupi é realizado principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. A produtividade de grãos de feijão-caupi nessas regiões é, respectivamente, 1144, 553 e 378 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019). Na safra 2018/19, o Nordeste tem produção estimada de 417,9 mil toneladas de feijão-caupi (CONAB, 2019).

A expansão de novas áreas para plantio de lavouras é limitada no trópico úmido, devido os agricultores familiares utilizarem uma prática tradicional conhecida como agricultura de corte e queima ou itinerante. Uma alternativa para substituir o sistema de corte e queima utilizado no trópico úmido maranhense é a intensificação sustentável da produção agrícola. Garnett et al. (2013) relataram que um caminho potencial para a intensificação sustentável da agricultura é a integração das leguminosas de grãos em sistemas de produção. Essas plantas leguminosas apresentam vantagens pela capacidade de fixar nitrogênio (N) atmosférico quando em simbiose com as bactérias do gênero rizóbio. Ainda, essas plantas podem melhorar a fertilidade do solo, por serem utilizadas em rotação com outras culturas, e podem contribuir para a redução no uso de fertilizantes nitrogenados para a cultura subsequente (Kaul et al., 2015). Dentre as leguminosas de grãos, o feijão-caupi é a espécie mais cultivada pelos agricultores familiares no Norte e Nordeste do Brasil, pela sua rusticidade (Matsui e Singh, 2003), porém, possui baixa produtividade de grãos.

Essa baixa produtividade de grãos do feijão-caupi é devido ao manejo inadequado de práticas agrícolas, como por exemplo, a adubação com N (Monteiro et al., 2012). O N quando não disponível no solo geralmente limita a produção das culturas. Esse nutriente é exigido em maior quantidade pelo feijão-caupi (Freire Filho et al., 2005) e o fornecimento adequado de N influencia de forma positiva e significativa o aumento da produtividade (Aires et al., 2014). Para suprir a exigência de N para a cultura, a adubação mineral é a principal forma de fornecimento de N às plantas. A aplicação de N mineral em solos tropicais normalmente apresenta baixa eficiência de recuperação pelas plantas, pois parte do N mineral aplicado não é absorvido por elas (Duque et al., 1985; Xavier et al., 2007; Rogeri et al., 2010). Os agricultores familiares carecem de tecnologias de baixo custo para maximizar a eficiência de absorção de N pelas plantas de feijão-caupi. Uma alternativa para esses agricultores familiares é o uso da adubação molíbdica.

O molibdênio (Mo) é um nutriente requerido pela cultura do feijão-caupi, por atuar diretamente no processo de assimilação de N, por meio das bactérias do gênero rizóbio. O Mo é componente principal da nitrogenase e da nitrato redutase. A nitrogenase é uma enzima chave no processo de fixação biológica do N (FBN). Essa enzima é responsável por reduzir o N atmosférico (N_2) em duas moléculas de amônia (NH_3). Os benefícios da FBN para as plantas leguminosas podem estar associados ao fato de o Mo ser constituinte da nitrogenase (Seefeldt et al., 2009). A nitrato redutase é a primeira enzima no processo de assimilação do N por reduzir o nitrato a nitrito (Purcino et al., 1994; Schwarz et al., 2009; Kaiser et al., 2005; Hansch e Mendel, 2009; Chatterjee et al., 2015), o que a caracteriza como enzima chave no processo de nutrição da planta. A regulação da assimilação do nitrato envolve uma rede complexa de estímulos externos e internos, como a própria presença de nitrato, a radiação fotossintética, dióxido de carbono e metabólitos do ciclo do carbono e do N (Crawford et al., 1995 e Campbell et al., 1999).

Ainda, o Mo atua como componente da oxidase/desidrogenase da xantina, que atua no catabolismo de purinas e na síntese de ureídeos que são os principais componentes nitrogenados nos nódulos, tanto para a soja quanto para o feijão-caupi (Marschner et al., 1995). A enzima aldeído oxidase realiza a catálise do ácido aldeído a ácido abscísico (ABA) (Seo et al., 2002) e também realiza a etapa final da biossíntese do ácido indoloacético (AIA), tais atividades contribuem para adaptação e resistência à estresses (Milborrow et al., 2001). A enzima sulfito oxidase tem influência na resposta da planta a estresses bióticos e abióticos e na formação do pólen e na síntese proteica (Mendel, 2012).

O pacote tecnológico do uso de sementes ricas em Mo não é amplamente difundida ou por falta de informação dos agricultores familiares ou por não terem o Mo disponível no mercado local (Vieira et al., 2005). Uma possível solução é fornecer sementes com alto conteúdo de Mo aos agricultores familiares. Diante dos avanços das pesquisas com a cultura do feijão-comum, é possível fornecer essa tecnologia a baixo custo aos agricultores da Zona da Mata de Minas Gerais (Vieira et al., 2011) e com aumento da produtividade (Sapucay et al., 2016). São escassas as informações do efeito do conteúdo de Mo da semente no crescimento do feijão-caupi e no potencial fotossintético das plantas quando cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural. Então, o uso de sementes com alto conteúdo de Mo pode ser uma alternativa para os agricultores familiares maranhenses por aumentar a produtividade de grãos, o crescimento e o potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi. A hipótese é que a tecnologia de semente enriquecida com Mo pode aumentar a eficiência fotossintética do

uso do N e o crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural. O objetivo foi avaliar o efeito dos conteúdos de Mo da semente na eficiência fotossintética do uso do N e no crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solo coeso de baixa fertilidade natural.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância socioeconômica do feijão-caupi

O feijão-caupi tem alto valor socioeconômico e alto valor nutritivo por ser alimento tradicional da população brasileira (Conab, 2019). É constituinte da dieta alimentar da maioria das famílias, principalmente a das mais carentes. Suas sementes são fontes de proteínas, aminoácidos, tiamina, niacina, além de fibras alimentares, propriedades alimentares que favorecem a utilização em programas de políticas públicas destinadas a desenvolver a qualidade de vida dos cidadãos no meio rural e urbano (Souza, 2005).

A produção de feijão-comum e de feijão-caupi está associada a propriedades menores que 5 hectares, o que corresponde a 90% das áreas destinadas ao cultivo da cultura (Silva et al., 2013). Na agricultura familiar é comum a existência de pequenas propriedades, mas são importantes no combate da insegurança alimentar, por reduzir a fome e a pobreza e por produzir alimentos que abastecem o mercado regional (FAO, 2014). Ainda, esse modelo de agricultura pode possibilitar demandas tecnológicas que garantem ganhos de produtividade e melhoraram o nível econômico regional (Lima et al., 2002).

2.2 Nitrogênio para as plantas

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais limita o crescimento e produtividade das culturas. Esse nutriente é essencial para o desenvolvimento das plantas por constituir moléculas com funções biológicas fundamentais para o crescimento e manutenção da atividade bioquímica e fisiológica das plantas, tais como ATP, NAPH, NADH, clorofila e enzimas (Harper et al., 1994). Esse nutriente contribui para aumentar

a massa de grãos por vagem, número de vagens por planta (Smiderle et al., 2008) quanto a sua produtividade (Xavier et al., 2007).

As plantas absorvem o N inorgânico da solução do solo na forma nítrica (N-NO₃) e ou amoniacal (N-NH₄⁺), entretanto, a forma nítrica é mais predominante em solos aerados e a forma amoniacal é mais predominante em solos ácidos e ou ambientes anaeróbicos (Miller e Cramer, 2004). Plantas também absorvem N orgânico na forma de ureia, aminoácidos e peptídeos (Tegeder e Rentsch, 2010; Forde, 2014).

As duas principais fontes de N para as plantas são: a fixação biológica de N (Udvardi e Poole, 2013; Sá et al., 2017) para as plantas leguminosas, e a decomposição da matéria orgânica do solo (Nicolás et al., 2019). A grande parte do N orgânico presente nos solos está na forma de amida e aminas e polifenóis, polissacarídeos, ligninas, lipídios e outros processos microbianos que estão presentes na decomposição da matéria orgânica do solo (Simpson et al., 2007).

As plantas geralmente necessitam da decomposição da matéria orgânica para conseguir absorver o N dessas fontes orgânicas do solo (Schimel e Bennett, 2004). Normalmente, os solos brasileiros apresentam baixa concentração de N nas primeiras camadas (0-20 cm) (Malavolta, 1980), e em clima tropical ou subtropical os processos de intemperização do solo justificam ainda mais essa diminuição.

As pesquisas sobre as fontes de N são voltadas para a amônia e nitrato devido a facilidade de encontramos esses nutrientes no solo e em níveis mais elevados quando comparadas as outras possíveis fontes de N (Miller e Cramer, 2004). As plantas em sistemas naturais dependem de fontes de N para o seu desenvolvimento e para isso desenvolveram mecanismos específicos de transporte e sinalização a este nutriente (Kiba e Krapp, 2016). O nitrato pode ser absorvido do solo por redução através das raízes ou pelo transporte da raiz para a parte aérea, via xilema, e reduzido nas folhas (Hachiya et al., 2016). A amônia pode ser assimilada pelas raízes (Guan et al., 2016) e em baixas concentrações os aminoácidos convertidos a amônia são carregados para o xilema (Tegeder, 2014).

O N é absorvido pelo sistema radicular das plantas conforme o estágio de desenvolvimento: no início do processo de germinação, há preferência para a forma amoniacal e com o desenvolvimento da planta passa a absorver a forma nítrica (Blackmer et al., 2000).

2.3 Importância do molibdênio nas reações fisiológicas da planta

A deficiência de molibdênio (Mo) no solo normalmente está associada a condições de classes de solos, que naturalmente são pobres em matéria orgânica, baixo pH, nutrientes adsorvidos aos colóides do solo e perda de solo por erosão (Kaiser et al., 2005). A presença de Mo no sistema solo-planta é fundamental para aumentar o desempenho das culturas. No solo, o Mo é encontrado na forma de molibdato (forma disponível para plantas), fungos e bactérias (Mendel et al., 2012).

O Mo está diretamente ligado a enzima nitrogenase e a enzima nitrato redutase. Esse nutriente faz parte do complexo enzimático da nitrogenase, que catalisa a redução do N_2 atmosférico a NH_3 . A outra enzima importante para o metabolismo do N é a nitrato redutase, que catalisa a redução de nitrato a nitrito (Seefeldt et al., 2009). Ainda, o Mo é constituinte da Aldeído oxidase (AO) que participa da síntese de hormônios em plantas como na formação do ácido abscísico (Seo et al., 2000), Xantina desidrogenase (XDH) enzima chave no processo de degradação da purina que catalisa a oxidação da hipoxantina via xantina em ácido úrico e Sulfito oxidase (SO) que atua nas plantas em peroxissomos tendo como produto peróxido de hidrogênio na transferência de elétrons para o dióxido de oxigênio (Schwarz e Mendel, 2009).

O Mo está associado a diversas enzimas com atividades relacionadas a metabólitos que contribuem para resistência a estresses abióticos ou bióticos (Mendel e Hansch, 2002). Em trabalhos realizados com a cultura da soja, Liu et al. (2005) relataram que o desenvolvimento do sistema radicular, volume de raiz e biomassa da raiz estão diretamente relacionados com a presença de Mo no solo. Esse micronutriente influencia positivamente no sistema radicular devido a incrementos da atividade da enzima nitrogenase (Liu et al., 2005) e a nitrato redutase no aumento da massa e quantidade de nódulos no sistema radicular da soja (Toledo et al., 2010).

Em plantas de trigo, a deficiência de Mo provoca clorose nas folhas e morte prematura de folhas novas no inverno. Nessa cultura, o estresse pelo clima frio potencializa os efeitos da deficiência do Mo (Wang et al., 1990). Dada a importância do Mo, na folhagem aumenta a resistência ao frio na cultura do trigo (Wang et al., 1995), proporciona aumento da camada de lipídios nas folhas (Yaneva et al., 1995) e da atividade de enzimas antioxidantes (Sun et al., 2006).

Estresses nas plantas provocados por concentrações de sal prejudicam a manutenção da membrana celular e afetam o metabolismo da planta (Henriques e Craik,

2012) e a permeabilidade seletiva da membrana pelo desequilíbrio iônico nas células, o que acarreta no vazamento dos íons celulares (Odlum e Blake, 1996). A resistência ao estresse salino está relacionada a manutenção do íon K^+ e regulação do íon Na^+ (Maathuis e Amtmann, 1999). O efeito do Mo na síntese de ácido abscísico (ABA) possibilita maior absorção e íons K^+ e exclusão de Na^+ (Sun et al., 2009), fato que mantém o equilíbrio osmótico na planta. Gupta e Lipsett (1991) em estudo conduzidos com soja relataram que houve aumento da concentração de ABA na planta e concluíram que a adição de Mo ameniza os efeitos negativos de SO_2 e melhora a capacidade de realizar a fixação biológica do N. veja se encontra algum artigo atual sobre Mo e ABA pra atualizar essa informação.

2.4 Sementes enriquecidas com molibdênio na ecofisiologia da planta

O fornecimento de Mo para a cultura do feijão-comum era associado a agricultores com acesso às tecnologias e de renda alta, pois o fornecimento dependia do tratamento de sementes ou pulverização com Mo e da disponibilidade de adubo molíbdico no mercado (Vieira et al., 2015). Entretanto, com o avanço da pesquisa para enriquecer sementes com Mo, foi possível fornecer o Mo a baixo custo por meio das sementes ricas com esse elemento (Vieira et al., 2011; Pacheco et al., 2012).

Aos 30 dias após a emergência, as plantas originadas de sementes com alto conteúdo de Mo da cultivar Carioca ($2,25 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$) e da cultivar Manteiga ($3,53 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$) aumentaram em 3,4 vezes e 2,2 vezes a atividade da enzima nitrogenase em relação às plantas com baixo conteúdo de Mo da cultivar Carioca ($0,36 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$) e da cultivar Manteiga ($0,77 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$), respectivamente (Kubota et al., 2008). As sementes enriquecidas com Mo tiveram aumento da qualidade fisiológica e o rendimento de grãos e não necessitam de aplicação adicional de Mo para manter a produtividade e massa de 100 sementes (Vieira et al., 2011).

Com a aplicação de Mo na folha as respostas fisiológicas das culturas agrícolas são positivas e proporcionam resistência a estresses bióticos e abióticos. Gupta et al. (1991) utilizaram a cultura da soja e estudaram o efeito sob estresse com SO_2 e três níveis de Mo (0, 1, 2 mg kg^{-1}). As plantas que receberam o maior nível de Mo aumentaram a capacidade em realizar fotossíntese e tiveram resistência aos efeitos negativos do SO_2 .

A taxa fotossintética realizada por unidade de área é determinada como a eficiência fotossintética do uso do nitrogênio (EFUN) e é considerada uma importante

característica funcional que diferencia as espécies (Hikosaka, 2004). As enzimas constituídas com Mo são essenciais para uma ampla variedade de processos metabólicos, como assimilação de nitrato e síntese de hormônios em plantas (Schwarz et al., 2006).

No estudo de Zhang et al. (2014), com a cultura da couve chinesa, aplicaram três doses de Mo no solo (0; 0,15 ou 0,30 mg kg⁻¹) associadas a condição de estresse por sal (500 ml 0.8 % of NaCl). O Mo aplicado no solo aumentou a massa fresca da folha, clorofila *a* e *b*, preservação da membrana celular e atividade fotossintética das plantas de couve-chinesa. Esse fato demonstra o efeito positivo da aplicação do Mo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses últimos autores relataram que a maior dose de Mo aplicada no solo (0,3 mg de Mo kg⁻¹ de solo) foi eficaz por manter a atividade osmótica da célula.

São escassas as informações na literatura especializada sobre os efeitos dos conteúdos de Mo da semente no crescimento e no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de faixa fertilidade natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aires, B. C.; Resposta de cultivares de feijão comum à adubação nitrogenada.2014. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UNESP - Campus de Botucatu, São Paulo, (2014).

Blackmer, A. M. Soil fertility and plant nutrition: bioavailability of nitrogen. In: SUMMER, M. E. (Ed.). Handbook of soil science. New York: CRC Press, 2000. p.D3-D18.

Campbell, W.H. **Annu Rev Plant Physiol and Plant Mol Biol.** Jun;50:277-303(1999).

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - Safra 2018/19, n.9 - Nono levantamento, Junho (2019).

Chatterjee, R; Bandyopadhyay, S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.**11.001. (2015)

Crawford, N.M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth.**The Plant Cell**, Rockville, v.7, p.859-868, (1995).

Duque, F. F.; Neves, M. C. P.; Franco, A. A.; Victória, R. L.; Boddey, R. M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* to *Rhizobium* inoculation and qualification of N₂ fixation using ¹⁵N. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 88, p. 333-343, (1985).

FAO -Food and agriculture organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture. Innovation in family farming. Rome: **FAO**, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4040e.pdf>>. Acesso em: Jan. 12, (2019).

FAO. Base de dados Faostat. Disponível em:<<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 12 jan.(2019).

Freire Filho, F. R. et al. Melhoramento genético. In: Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. de A.; Ribeiro, V. Q. (Eds.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**. p. 28-92.(2005).

Forde, B.G. Glutamate signalling in roots. *Journal of Experimental Botany* 65, 779–787. (2014).

Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J., Godfray, H.C.J., Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. **Science** 341,33–34. (2013)

Guan, M.; Møller, I.S.; Schjoerring, J.K. Two cytosolic glutamine synthetase isoforms play specific roles for seed germination and seed yield structure in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany* 66, 203–212. 2015

Gupta, G.; Sandhu and Muchi, R. C., Changes in foliar concentration of abscisic acid in soybean in response to SO₂ fumigation. **J. Environ. Qual.**, 20. 151-152. (1991)

Harper, J.E. Nitrogen metabolism. In: Boote, K.J., Bennett. J.M., Sinclair, T.R. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA. Chapt.11A. p.285-302 (1994).

Hansch, R., Mendel, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Curr. Opin. Plant Biol.* 12, 259–266. (2009).

Hachiya T, Ueda N, Kitagawa M, Hanke G, Suzuki A, Hase T, Sakakibara H. Arabidopsis root-type ferredoxin:NADP(H) oxidoreductase 2 is involved in detoxification of nitrite in roots. *Plant and Cell Physiology* 57, 2440–2450. 2016

Henriques, S. T.; D. J. Craik.. Importance of the Cell Membrane on the Mechanism of 269 Action of Cyclotides. **Acs Chemical Biology** 7: 626-636. (2012).

Hikosaka, K. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. **Journal of Plant Research**, 117, 481–494. (2004).

Kaiser, B.N; Gridley, K.L.; Brady, J.N.; Phillips, T. Tyerman, S.D. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Ann. Bot.**, 96:745-754, (2005).

Kaul, H. P; Neugschwandtner, R.W; Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. **Journal Elsevier**. 179.113–119. (2015).

- Kiba T, Krapp A. Plant nitrogen acquisition under low availability: regulation of uptake and root architecture. *Plant & Cell Physiology* 57, 707–714. 2016
- Kubota F.Y, Andrade Neto A.C de, Araújo A.P, Teixeira MG. Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1635-1641. (2008).
- Lima, D.M. de A.; Wilkinson, J. Inovação nas tradições da agricultura familiar. Brasília: CNPQ/Paralelo. 400p. doi: 0.1007/s10113-015-0805-2. (2002).
- Liu, P., Yang, Y.S, Xu, G.D., Fang, Y.H., Y.A. Yang, R.M. Kalin. The effect of molybdenum and boron in soil on the growth and photosynthesis of three soybean varieties. **Plant Soil Environ**, 51: 197–205. (2005).
- Maathuis, F, J; A. Amtmann. K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular 290 K⁺/Na⁺ ratios. **Annals of Botany** 84, 123–133. (1999)
- Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**.130p. (1980).
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed. New York, **Academic Press**. 889p. (1995).
- Matsui, T.; Singh, B.B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. *Experimental Agriculture*, v.39, p.29-38. 2003
- Mendel, R. R., & Kruse, T. Cell biology of molybdenum in plants and humans. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1823(9), 1568–1579. doi:10.1016/j.bbamcr.2012.02.007 (2012).
- Mendel, R.R., Hänsch, R. Molybdo enzymes and molybdenum cofactor in plants. **J. Exper. Bot.**, 53:1689-1698, (2002).
- Milborrow, B.V. The pathway of biosynthesis of abscisic acid in vascular plants: a review of the present state of knowledge of ABA biosynthesis. **Journal of Experimental Botany** 52: 1145–1164. (2001).
- Miller, A.J; Cramer, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**. 274, 1–36. 2004
- Monteiro, F. P. R; Chagas Junior AF, Reis M.R; Santos G.R. e Chagas L.F.B; Efeitos de herbicidas na biomassa e nodulação do feijão-caupi inoculado com rizóbio. **Revista Caatinga**, v.25.p.44-51. (2012).
- Nicolás, C.; Bertelsen, T. M.; Floudas, D.; Bentzer, J.; Smit, M.; Johansson, T.; Troein, C.; Persson, C.; Tunlid, A. The soil organic matter decomposition mechanisms in ectomycorrhizal fungi are tuned for liberating soil organic nitrogen. *The Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0331-6>. **volume 13**, pages 977–988 (2019).

Odlum, K. D., and T. J. Blake. A comparison of analytical approaches for assessing 297 freezing damage in black spruce using electrolyte leakage methods. *Anadian Journal of Botany* 298 *revue Canadienne de Botanique* 74: 952-958. (1996)

Pacheco R.S., Brito L.F., Staliotto R, Pérez D.V., Araújo A.P. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*, 136:97-106. (2012).

Purcino, A.A.C.; Magnavaca, R.; Machado, A.T. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6, n.1, p.41-46. (1994).

Rogeri, D.A. Suprimento e perdas de nitrogênio no solo decorrentes da adição de cama de aves [dissertação]. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina; (2010).

Sá, J.C.M., Lal, R., Cerri, C.C., Lorenz, K., Hungria, M., Carvalho, J.C.C. Lowcarbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environ. Int.* 98, 102–112. (2017).

Sapucay, M.J.C.; Vieira, R.F.; Carneiro, J.E.S.; Junior, T.J.P.; Lima, M.S.; Vidigal, S.M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen?. *J. Plant Nutrition.*; 39:1644–1653. (2016).
<https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1161782>

Schwarz, G.; Mendel, R.R. Molybdenum cofactor biosynthesis and molybdenum enzymes. **Annual Review of Plant Biology** 57: 623–647. (2006).

Schwarz, G.; Mendel, R. R.; Ribbe, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. **Nature**, v. 460, n. 7257, p. 839-847. (2009).

Schimel, J.P, Bennett J. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology.*;85:591–602. (2004).

Seefeldt, L.C; Hoffman, B.M; Dean, D.R. *Annu. Rev. Biochem.* 78.701. (2009)

Seo, M., Peeters, A. J., Koiwai, H., Oritani, T., Marion-Poll, A., Zeevaart, J. A., Koshiba, T. The Arabidopsis aldehyde oxidase 3 (AAO3) gene product catalyzes the final step in abscisic acid biosynthesis in leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 97(23), 12908–12913. (2000).
doi:10.1073/pnas.220426197

Seo, M.; Koshib, A. T. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 1, p. 41-48, (2002).

Seefeldt, L.C; Hoffman, B.M; Dean, D.R. *Annu. Rev. Biochem.* 78.701. (2009)

Smiderle, O. J.; Schwengber, D. R. Rendimento e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de doses de nitrogênio. *Agro@ambiente On-line*, v. 2, n. 01, p. 18-21, 2008.

Sun X, Qilin T, Hu C, Gan Q, Yi C. Effects of molybdenum on antioxidative enzymes in winter wheat under low temperature stress. ***Agricultural Sciences in China*** 39: 952–959. (2006).

Sun, X. C., C. X. Hu, Q. L. Tan, J. S. Liu, and H. E. Liu. Effects of molybdenum on cold-responsive genes in abscisic acid (ABA)-dependent and ABA-independent pathways in winter wheat under low temperature stress. ***Annals of Botany*** 104:345–356. (2009).

Silva, O.F.; Wander, A.E. O Feijão-Comum no Brasil: Passado, Presente e Futuro. Santo Antônio de Goiás - GO: **Embrapa Arroz e Feijão**. 63p.Documentos / Embrapa Arroz e Feijão,287). (2013).

Simpson, A.J.; Song, G.; Smith, E.; Lam, B.; Novotny, E.H.; Hayes, M.H.B. Unraveling the structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ Sci Technol.*; 41:876–83. (2007).

Souza, R. F. Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro. 141 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, (2005).

Tegeder, M.; Rentsch, D. Uptake and partitioning of amino acids and peptides. *Molecular Plant* 3, 997–1011. 2010

Tegeder M. Transporters involved in source to sink partitioning of amino acids and ureides: opportunities for crop improvement. *Journal of Experimental Botany* 65, 1865–1878. 2014

Toledo, M. Z., Garcia, R. A., Pereira, M. R. R., Boaro, C. S. F., & Lima, G. P. P. (2010). Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. ***Bioscience Journal***, 26(6). Retrieved from <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7220>

Udvardi, M. Poole, P.S. Transport and metabolism in legume-rhizobia symbioses. *Annual Review of Plant Biology* 64: 781. (2013).

Vieira, R.F; Salgado, L.T; Ferreira, A.C.C. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. ***Journal of Plant Nutrition***, 28:393-377. (2005).

Vieira, R.F.; Paula Júnior, T.J.; Pires, A.A.; Carneiro, J.E.S.; Rocha, G. S. Common bean seed complements molybdenum uptake by plants from soil. ***Agronomy Journal***, 103:1843-1848. (2011).

Vieira, R. F, Paula, T. J., Prado, A. L., Araújo, R. F., Lehner, M.S., Silva, R. A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode

reduzir a qualidade da semente. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 62, n.4, p. 415-419, jul-ago, (2015).

Yaneva I, Vunkova-Radeva R, Stefanov K, Tsenov A, Petrova T, Petkov G. Changes in lipid composition of winter wheat leaves under low temperature stress: effect of molybdenum supply. **Biologia Plantarum** 37: 561–566. (1995)

Wang, Z.; Wang. Y.; Min, Z. A primary study on mechanism of yield increased by molybdenum fertilizer in winter wheat. **Soil Fertility** 3: 29–31 (in Chinese). (1990)

Wang, Y.H.; Wei, W.X.; Tan; Q. L. A study on molybdenum deficiency and molybdenum application of winter wheat in yellow-brown soil of Hubei province. **Soil Fertility** 8: 24–28 (in Chinese). (1995).

Xavier, T. F.; Araújo, A. S. F; Santos, V. B.; Campos, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. *Ciência Rural*, v. 37, n. 02, p. 572-575. 2007.

Zhang, M.; Chengxiao, H.; Xuecheng, S.; Xiaohu, Z.; Qiling, T.; Ying, Z.; Na, L. Molybdenum Affects Photosynthesis and Ionic Homeostasis of Chinese Cabbage under Salinity Stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. (2014): DOI: 10.1080/00103624.2014.941855

CAPÍTULO II

EFEITOS DOS CONTEÚDOS DE MOLIBDÊNIO DA SEMENTE NO POTENCIAL FOTOSSINTÉTICO DAS PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI CULTIVADAS EM SOLOS COESOS DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL

Manuscrito de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

Efeitos dos conteúdos de molibdênio da semente no potencial fotossintético das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural

RESUMO

Presume-se que as plantas de feijão-caupi originadas de semente com alto conteúdo de molibdênio (Mo) aumentam as respostas fisiológicas e o crescimento quando cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural. Objetivou-se avaliar os efeitos dos conteúdos de Mo da semente na eficiência fotossintética do uso do nitrogênio (EFUN) e no crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solo coeso de baixa fertilidade natural. Foram usadas as sementes colhidas da primeira colheita da cultivar Guariba com três conteúdos de Mo produzidas em Viçosa-MG. Em esquema fatorial, os três conteúdos de Mo ($0,014 \pm 0,005$; $0,674 \pm 0,151$ ou $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$) foram combinados com 0 ou 60 kg ha^{-1} de N. Foi usado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Metade da dose de 60 kg ha^{-1} foi aplicada no sulco de plantio e metade foi aplicada em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). As plantas foram irrigadas por gotejamento para complementar as chuvas. Na fase R2 (início do florescimento) e no período de 8:00 às 10:00 foram avaliadas a relação F_v/F_m , trocas gasosas (assimilação fotossintética de CO_2 , razão C_i/C_a , condutância estomática, taxa transpiratória), eficiência instantânea e intrínseca do uso da água, teor de N na folha, área foliar específica, eficiência fotossintética do uso do N, massa da planta seca, índice de colheita e eficiência fisiológica. Com N, os conteúdos de Mo não influenciaram a assimilação fotossintética de CO_2 em base de área e em base de massa, a EFUN e o teor de N na folha. Sem N, as médias da assimilação fotossintética de CO_2 em base de área e em base de massa, a EFUN e o teor de N na folha das plantas originadas com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$ foram, respectivamente, 45,8%, 57,5%, 44,2% e 23,6% maiores que as das plantas originadas com conteúdo de $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$. Os resultados sugerem que sementes ricas em Mo aumentam a EFUN e o crescimento das plantas do feijão-caupi cultivado em solos coesos com baixa fertilidade natural quando não é usado N, porém não influenciam o Índice de colheita.

Palavras chave: *Vigna unguiculata*, nitrogênio, molibdênio, área foliar específica, fotossíntese, semente rica em molibdênio.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é cultivado em vários países tropicais e subtropicais, por ser rico em proteína e minerais, onde constitui papel fundamental na dieta das famílias carentes (Teófilo et al., 2008). Ainda, é responsável pela geração de emprego e renda para essas famílias. Essa cultura é cultivada na região do trópico úmido no final da estação chuvosa, por ser uma cultura com maior rusticidade (Matsui e Singh, 2003). Diante de sua rusticidade e solos coesos de baixa fertilidade natural, a adubação das culturas é imprescindível para a obtenção de produtividades adequadas.

O nitrogênio (N) é macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Deficiência de N e de clorofila indicam que a planta utilizará, de forma ineficiente, a luz como fonte de energia para realizar funções essenciais como absorção de nutrientes e produção de carboidratos. Esse fenômeno ocorre devido mais da metade do N ser alocado nos aparatos fotossintéticos das espécies vegetais (Evans, 1989). À medida que a planta cresce, a deficiência de N reduz a produção de clorofila e da enzima Rubisco e até mesmo limita a regeneração e a atividade da Rubisco existente no ciclo de Calvin (Sugiharto et al., 1990; Marschner, 1995).

O teor de N nas folhas é fortemente correlacionado com a capacidade fotossintética das plantas (Ciompi et al., 1996; Jin et al., 2015). A baixa disponibilidade de N na camada arável do solo somada à grande demanda de N pelas plantas faz com que esse nutriente seja um dos que mais limita o crescimento da planta e a produtividade de grãos (Lemaire et al., 2007; Hachiya e Sakakibara, 2017) e as respostas fisiológicas, principalmente pela baixa assimilação de CO₂ (Perchlik e Tegeder, 2018). Então, a quantidade de N que é absorvida pelas raízes e distribuída para os frutos e grãos, tem consequência direta no metabolismo e crescimento das plantas. O metabolismo do N e do carbono desempenham papel crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas.

A eficiência fotossintética do uso de N (EFUN) é um componente-chave na eficiência do uso do N, no entanto, pode ser definida pela relação entre a assimilação fotossintética de CO₂ e o teor de N por unidade de área foliar. Em geral, a EFUN é negativamente relacionada com a quantidade de N aplicada às plantas, o que indica baixa eficiência da enzima Rubisco (Onoda et al., 2004; Takashima et al., 2004; Li et al., 2013; Perchlik e Tegeder, 2018). Por outro lado, ainda não há informações sobre o efeito do uso do molibdênio (Mo) na EFUN de plantas de feijão-caupi.

Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A deficiência de Mo no solo é tão prejudicial como a falta de um macronutriente (Taiz e Zeiger, 2009). O Mo exerce papel fundamental em vários processos fisiológicos e bioquímicos. Nas plantas, o Mo é cofator de mais de 40 processos bioquímicos (Schwarz e Mendel, 2006). Desse total, o Mo é componente das duas mais importantes enzimas envolvidas no metabolismo do N, a nitrato redutase e a nitrogenase. A nitrato redutase é responsável pela redução do nitrato (N-NO₃) a nitrito (N-NO₂) durante o processo de assimilação do N, e a nitrogenase é a enzima relacionada à redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) (Schwarz e Mendel, 2006; Rubio e Ludden, 2008; Schwarz et al., 2009; Kaiser et al., 2005). O Mo também é componente da enzima aldeído oxidase, que é envolvida na biossíntese de ácido abscísico; a xantina oxidase, responsável por oxirredução no metabolismo da purina e biossíntese do ureídeo, e a sulfito oxidase, que catalisa a conversão de sulfito em sulfato, no catabolismo de aminoácidos (Williams e Frausto da Silva, 2002; Nguyen et al., 1986; Mendel e Haensch, 2002; Kaiser et al., 2005).

Os avanços tecnológicos possibilitaram alternativas eficazes e baratas para solucionar problemas associados ao manejo inadequado da nutrição das plantas, logo o fornecimento de Mo via semente enriquecida é barato e não necessita da disponibilidade do produto no mercado (Vieira et al., 2011). Sapucay et al. (2016) relataram que é possível obter produtividade de grãos de feijão-comum de 3000 kg ha⁻¹, bem como aumentar o teor de N na folha da cultura com aplicação de Mo via foliar ao invés de aplicar N em cobertura. Por isso, uma possível solução para difundir o uso do Mo para o agricultor é fornecer semente com alto conteúdo de Mo, que proporciona o mesmo efeito do Mo aplicado na folhagem (Vieira et al., 2005; Vieira et al., 2011; Pacheco et al., 2012; Vieira et al., 2014; Vieira et al., 2015). Esses estudos mostraram que é possível aumentar a produtividade e a nutrição nitrogenada das plantas de feijão-comum. No entanto, são encontrados estudos sobre os efeitos dos conteúdos de Mo da semente na eficiência fotossintética do uso do N e no crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural.

O objetivo foi avaliar os efeitos dos conteúdos de Mo da semente na eficiência fotossintética do uso do N e no crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural. A hipótese desse trabalho foi que o uso de sementes ricas em Mo aumenta a eficiência fotossintética do uso do N e o crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção das sementes ricas em Mo

As sementes de feijão-caupi da cultivar Guariba, foram produzidas na Zona da Mata de Minas Gerais, em Viçosa-MG. Para isso, foram aplicadas três doses de Mo nas folhagens na forma de molibdato de sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): 0; 250 ou 850 g ha^{-1} . A dose de 250 g ha^{-1} de Mo foi aplicada da seguinte forma: 50 g ha^{-1} aos 30 dias após a emergência (DAE) (surgimento dos botões florais) e 200 g ha^{-1} aos 41 DAE (plantas floridas com vagens até 10 cm). A dose de 850 g ha^{-1} de Mo, foi parcelada assim: 50 g ha^{-1} aos 30 DAE; 400 g ha^{-1} aos 41 DAE; e 400 g ha^{-1} aos 54 DAE (plantas com 10% das vagens formadas e com grãos em crescimento). Foram determinados nos extratos os teores de Mo da semente e os conteúdos de Mo da semente foram obtidos pela multiplicação dos teores de Mo da semente pela massa média de uma semente seca. Detalhes da instalação e condução do experimento para produção de sementes com três conteúdos de Mo podem ser obtidos em Sodré (2018). As sementes colhidas foram armazenadas em câmara fria com baixa temperatura e umidade para manter-lhes a qualidade fisiológica até o uso no Maranhão.

Experimento de campo em São Luís-MA

As sementes colhidas na primeira colheita em Viçosa-MG foram usadas para realizar o experimento de campo em São Luís- MA. Esse experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís ($2^\circ 30' \text{ S}$, $44^\circ 18' \text{ W}$, altitude de 24 m) entre maio e agosto de 2018.



Figura 1. Visão geral do experimento na Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Campus de São Luís – MA.

O clima da região é predominantemente do tipo AW', equatorial quente úmido, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra seca, com acentuado déficit hídrico, que se estende de julho a dezembro (Alvarez et al., 2014). Cerca de 80% (1913 mm) da precipitação ocorreu de janeiro a julho e o restante entre julho a dezembro (Figura 2). As informações climáticas foram obtidas no Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão (NuGeo UEMA, 2018).

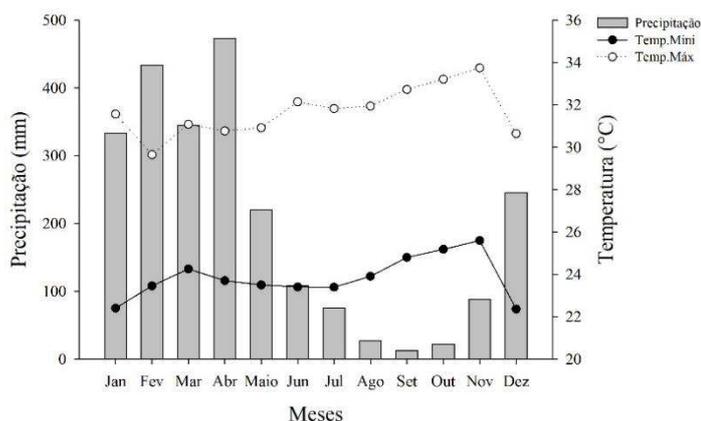


Figura 2- Precipitação e temperatura mínima e máxima durante o ano de 2018, em São Luís- MA.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (EMBRAPA, 2013). Antes da instalação do experimento, as características físico-químicas desse solo na camada de 0-20 cm, conforme o método proposto por Van Raij et al. (2001), eram: pH em CaCl₂ (relação solo:solução 1:2,5) = 4,5; matéria orgânica = 11 g dm⁻³; P (resina) = 2 mg dm⁻³; K = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca = 14 mmol_c dm⁻³; Mg = 9 mmol_c dm⁻³; H + Al³⁺ = 21 mmol_c dm⁻³; SB = 23,5 mmol_c dm⁻³; CTC = 44,5 mmol_c dm⁻³; V = 52,81%; areia grossa = 410 g kg⁻¹; areia fina = 450 g kg⁻¹; silte = 40 g kg⁻¹; Argila = 100 g kg⁻¹.

Tratamentos e delineamento experimental em São Luís- MA

Em esquema fatorial, os tratamentos foram combinados com três conteúdos de Mo (0,014 ± 0,005; 0,674 ± 0,151 ou 1,987 ± 0,278 µg de Mo semente⁻¹) e duas doses de N (0 ou 60 kg ha⁻¹). Metade da dose de 60 kg ha⁻¹ foi aplicada no plantio e metade em cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE). A ureia em cobertura foi aplicada em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância das plantas. Em seguida, os sulcos

foram cobertos com uma camada de solo para minimizar a volatilização. Foi utilizada ureia como fonte de N (45% de N). O experimento foi instalado em blocos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi constituído por 24 parcelas. A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,60 m. O plantio foi realizado no dia 17 de maio de 2018 e foram distribuídas 10 sementes por metro de sulco. A área útil da parcela foi 4,8 m². As duas fileiras laterais serviram de bordadura.

Instalação e condução do experimento em São Luís- MA

A limpeza da área foi realizada um mês antes da instalação do experimento com auxílio de roçadeira manual, e a palhada foi mantida sobre a superfície do solo, como fazem os agricultores da região. Não foi realizado nenhum preparo mecânico do solo para semeadura e também não foi feita adubação química no plantio, exceto o N. Após o plantio, foi feita irrigação por gotejamento com lâmina de água de 6 mm/h, em intervalos de dois em dias, até a emergência e o estabelecimento das plântulas. As plantas foram irrigadas por gotejamento para complementar as chuvas. Foram realizadas capinas manuais para controlar as ervas espontâneas, quando necessário. Aos 40 DAE, foram aplicados óleo de nim (*Azadirachta indica*) na dosagem de 312,5 mL ha⁻¹ para o manejo do pulgão (*Aphis craccivora*) e o espalhante adesivo Adesil na dose de 12,5 g ha⁻¹ de produto foi aplicado para facilitar a aderência à folha.

Características avaliadas

Na fase de R2 (início do florescimento) foram realizadas as avaliações da fluorescência da clorofila *a*, as trocas gasosas, teor de N na folha e massa da planta seca. As avaliações da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas foram realizadas sempre na porção mediana da folha jovem plenamente expandida, entre 8:00 e 10:00 horas da manhã.

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi quantificada com o fluorômetro portátil (Pocket PEA chlorophyll fluorimeter, Hansatech Instruments – King's Lynn, Norfolk), induzida pela luz de Led com pico de 627 nm de aproximadamente 3500 µmol m⁻² s⁻¹. Previamente às leituras, os folíolos terminais de uma folha de uma planta da parcela na área útil foram adaptados ao escuro por 30 minutos, tempo necessário para a

oxidação completa dos centros de reação. Em seguida, foi obtido o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m).

As trocas gasosas (assimilação fotossintética de CO_2 , condutância estomática, concentração subestomática de CO_2 , taxa transpiratória e relação do carbono na câmara subestomática e carbono externo - C_i/C_a) foram obtidas com o analisador de gases a infravermelho (Li 6400XT, LiCor, Lincoln, EUA), em sistema aberto, sob radiação fotossinteticamente ativa de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de 400 ppm em dois folíolos terminais de duas folhas jovens plenamente expandidas entre a borda e a nervura central da folha da planta na parcela. A média das leituras realizadas nos dois folíolos representou a média da parcela. A eficiência instantânea do uso da água foi calculada pela relação entre a assimilação fotossintética de CO_2 e a taxa transpiratória, e a eficiência intrínseca do uso da água foi calculada pela relação entre a assimilação fotossintética de CO_2 e a condutância estomática.

A parte aérea de duas plantas na parcela foi cortada rente à superfície do solo para obter a massa da planta seca. Posteriormente, foram coletados 10 discos foliares de área conhecida ($22,70 \text{ cm}^2$) de 10 folhas na parcela. As mesmas folhas nas quais foram obtidos os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas, as duas plantas coletadas e os discos foliares foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante. Após a pesagem, as folhas secas foram moídas em moinho do tipo Wiley. O teor de N na folha foi obtido após a digestão sulfúrica de uma subamostra de 0,2 g do material vegetal moído e os extratos obtidos foram titulados com H_2SO_4 a 0,05N, pelo método de Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). A área foliar específica (AFE) foi obtida pela relação entre a área dos discos foliares e a massa dos discos secos. Ainda, foi determinado o teor de N na folha em base de área foliar pelo quociente entre o teor de N na folha e a AFE.

A assimilação fotossintética de CO_2 -massa foi obtida pela multiplicação entre a assimilação fotossintética de CO_2 -área e a AFE. A eficiência fotossintética do uso do N foi obtida pela relação entre a assimilação fotossintética de CO_2 -área e o teor de N por unidade de área foliar (Pons e Westbeek, 2004; Santos et al., 2006; Hirel et al., 2007; Marchiori et al., 2014).

Na colheita, foram coletadas todas as vagens secas das plantas na parcela útil de $4,8 \text{ m}^2$ para determinar a massa dos grãos secos. Posteriormente, essas plantas foram coletadas para determinar a massa da planta seca. O índice de colheita foi obtido pela relação entre a massa dos grãos secos e a massa da planta seca total acima do solo. A

planta seca foi triturada e submetida à digestão sulfúrica para quantificar o teor de N. O conteúdo de N na planta foi obtido pela multiplicação do teor de N na planta pela massa da planta seca. A eficiência fisiológica foi obtida pela relação entre o conteúdo de massa seca da planta e o conteúdo de N na planta (Fageria et al., 2013).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi usado $p \leq 0,25$ (Perecin e Cargnelutti, 2008) para desdobrar a interação entre os conteúdos de Mo na semente e as doses de N aplicados em cobertura. Foi usado $p \leq 0,05$ para testar os contrastes isolados. O teste F foi usado para comparar as médias das doses de N e o teste de Duncan foi usado para comparar as médias dos conteúdos de Mo da semente. Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software livre R (R Core Team, 2016).

RESULTADOS

A interação entre os conteúdos de Mo da semente e doses de N foi significativa sobre a assimilação fotossintética de CO₂-área, eficiência instantânea do uso da água, área foliar específica, teor de N na folha, eficiência fotossintética do uso do N, massa da planta seca e eficiência fisiológica, e foi altamente significativa sobre a assimilação fotossintética de CO₂-massa (Tabela 1).

Com N, os conteúdos de Mo da semente não influenciaram a assimilação fotossintética de CO₂-área, a assimilação fotossintética de CO₂-massa, a eficiência instantânea do uso da água e área foliar específica. Sem N, as plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$ aumentaram a assimilação fotossintética de CO₂-área em 86% (Figura 3A), a assimilação fotossintética de CO₂-massa em 2,4 vezes (Figura 3B), a eficiência instantânea do uso da água em 49% (Figura 3C) e a área foliar específica em 28% (Figura 3D), em relação às plantas originadas de sementes com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g de Mo semente}^{-1}$.

Tabela 1. Valores de *P* para o conteúdo de Mo da semente (CMoS), doses de N e a interação entre esses fatores sobre a assimilação fotossintética de CO₂ em base de área ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), assimilação fotossintética de CO₂ em base de massa ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ MS s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$), área foliar específica ($\text{m}^{-2} \text{ kg}^{-1}$), teor de N na foliar (g m^{-2}), eficiência fotossintética do uso do N ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ N s}^{-1}$), massa da planta seca (kg ha^{-1}), eficiência fisiológica (kg kg^{-1}), rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), razão do carbono na câmara subestomática e carbono externo (Ci/Ca), condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) e índice de colheita (IC).

Variáveis	CMoS	N	CMoS x N	CV (%)
Assimilação fotossintética de CO ₂ -área	0,004	0,001	0,032	15,84
Assimilação fotossintética de CO ₂ -massa	<0,001	0,028	0,003	19,02
Eficiência instantânea do uso da água	0,012	0,180	0,012	16,18
Área foliar específica	0,040	0,005	0,073	11,02
Teor de N foliar	0,105	0,008	0,049	10,28
Eficiência fotossintética do uso do N	0,013	0,810	0,072	21,27
Massa da planta seca	0,004	<0,001	0,016	15,47
Eficiência fisiológica	0,004	0,001	0,120	11,77
Rendimento quântico máximo do PSII-	0,468	0,072	0,643	3,60
Razão Ci/Ca	0,493	0,006	0,447	5,17
Condutância estomática	0,145	<0,001	0,252	23,90
Transpiração	0,709	0,033	0,934	17,90
Eficiência intrínseca do uso da água	0,881	0,058	0,778	26,50
Índice de Colheita	0,468	0,070	0,640	17,20

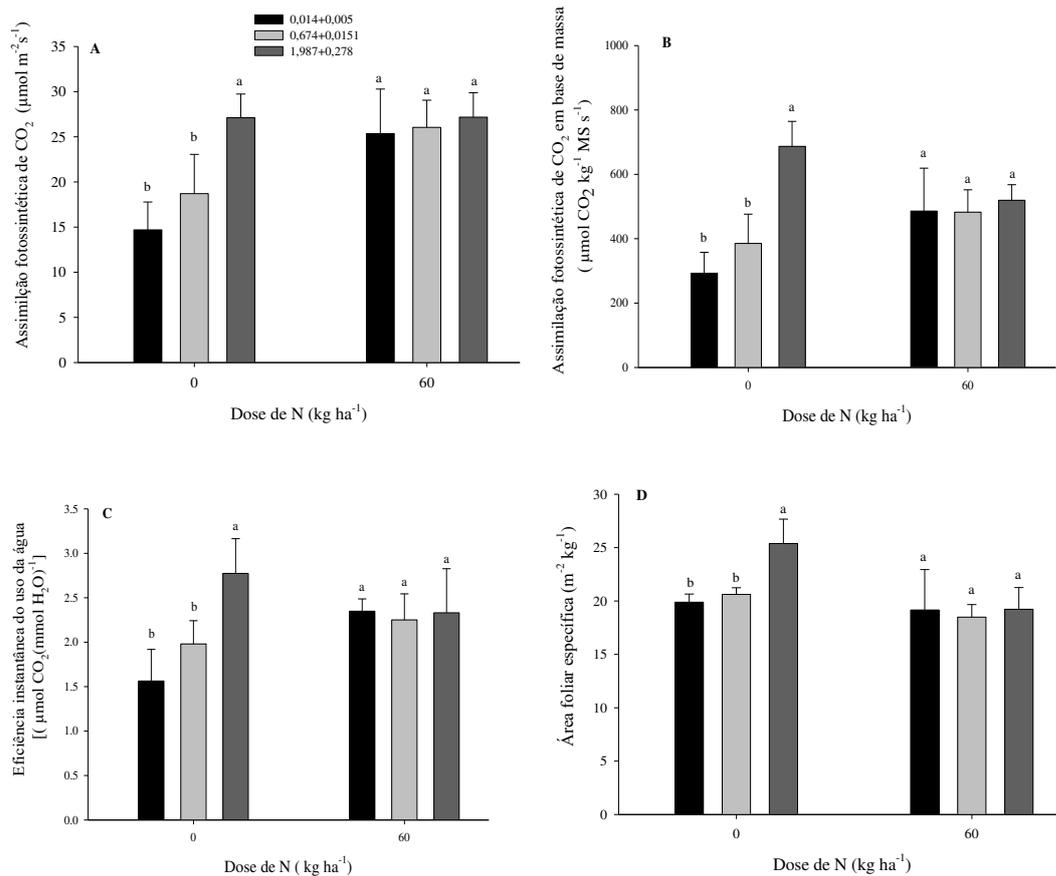


Figura 3. Efeito dos conteúdos de Mo da semente dentro das doses de N sobre a assimilação fotossintética de CO₂-área (A), assimilação fotossintética de CO₂-massa (B), eficiência instantânea do uso da água (C) e área foliar específica (D). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan (n = 4) ao nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio padrão.

Com N, os conteúdos de Mo da semente não influenciaram o teor de N na folha, a eficiência fotossintética do uso do N, a massa da planta seca e a eficiência fisiológica. Sem N, as plantas originadas de sementes com $1,987 \pm 0,278 \mu\text{g}$ de Mo semente⁻¹ aumentaram o teor de N na folha em 31% (Figura 4A), a eficiência fotossintética do uso do N em 79% (Figura 4B), a massa da planta seca em 63% (Figura 4C) e a eficiência fisiológica das plantas em 39% (Figura 4D), em relação às plantas originadas de sementes com $0,014 \pm 0,005 \mu\text{g}$ de Mo semente⁻¹.

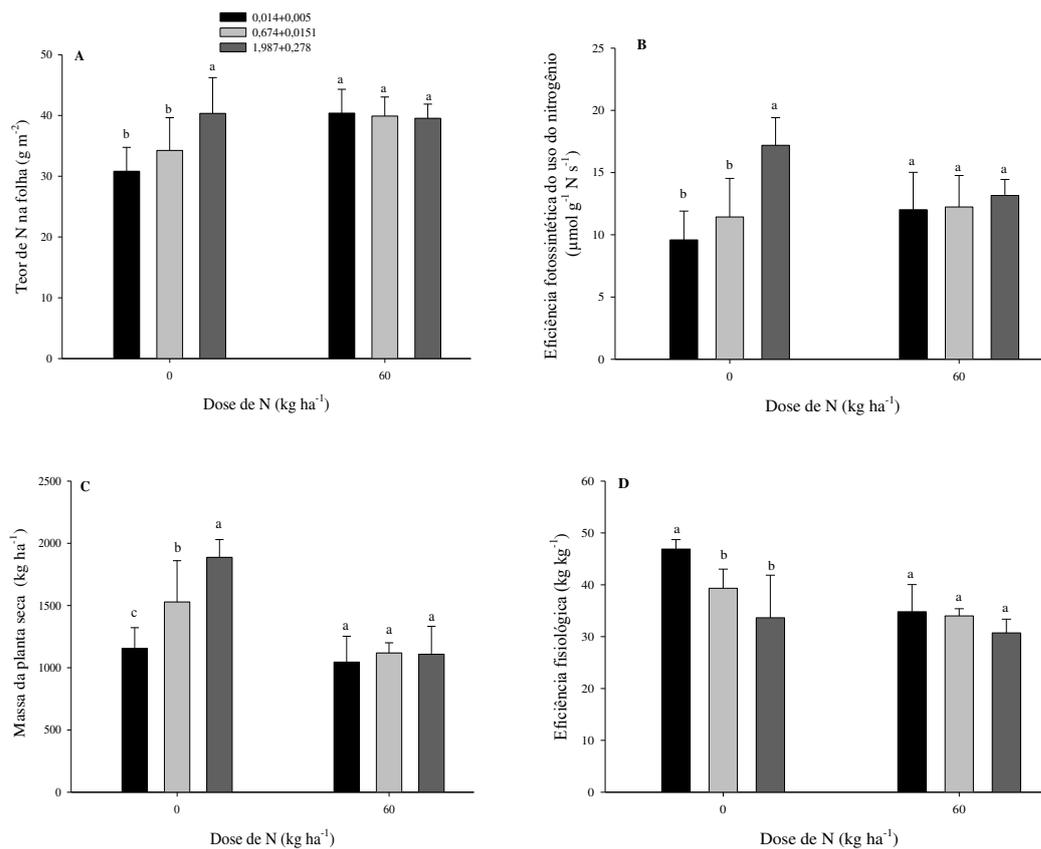


Figura 4. Efeito dos conteúdos de Mo da semente dentro das doses de N sobre o teor de N na folha (A), eficiência fotossintética do uso do N (B), massa da planta seca (C) e eficiência fisiológica (D). Dentro de cada dose de N, as médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra de erro representa o desvio padrão.

A interação entre conteúdos de Mo da semente e doses de N não influenciou a relação F_v/F_m , razão C_i/C_a , condutância estomática, transpiração, eficiência intrínseca do uso da água e índice de colheita (Tabela 1). Os conteúdos de Mo da semente não influenciaram a relação F_v/F_m , razão C_i/C_a , condutância estomática, transpiração, eficiência intrínseca do uso da água e índice de colheita. As doses de N não influenciaram a relação F_v/F_m e índice de colheita. Nas plantas que receberam N, a média da razão C_i/C_a , condutância estomática, transpiração, eficiência intrínseca do uso da água das plantas foram, respectivamente, 1,1, 1,63; 1,2, e 1,25 vezes maior que a média das plantas que não receberam N (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito dos conteúdos de Mo da semente (média \pm DP) e das doses de N no rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), razão entre a concentração interna e ambiente de CO₂ (Ci/Ca), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e índice de colheita (IC).

Conteúdo de Mo ($\mu\text{g semente}^{-1}$)	Fv/Fm	Ci/Ca	g _s	E	A/g _s	IC
0,014 \pm 0,005	0,78	0,81	0,67	10,15	32,10	0,35
0,674 \pm 0,0151	0,79	0,82	0,70	10,59	32,10	0,34
1,987 \pm 0,278	0,80	0,83	0,85	10,94	34,00	0,34
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	0,80 ^{ns}	0,79 ^{**}	0,56 ^{**}	9,65 [*]	36,36 [*]	0,35 ^{ns}
60	0,77	0,85	0,91	11,46	29,09	0,34

As médias referentes aos conteúdos de Mo da semente (n=8) foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns}, ^{**} e ^{*}: não significativo, significativo a 1% e 5%, pelo teste F (n=12).

DISCUSSÃO

A hipótese deste trabalho foi de que sem o uso de N no plantio ou em cobertura, as sementes com alto conteúdo de Mo aumentam a eficiência fotossintética do uso do N, bem como o crescimento das plantas de feijão-caupi cultivadas em solos coesos de baixa fertilidade natural. Essa hipótese foi suportada em relação ao conteúdo de Mo da semente, pelo fato de ter ocorrido aumento na eficiência fotossintética do uso do N e no crescimento das plantas de feijão-caupi.

O feijão-caupi é uma leguminosa e realiza a FBN e tal processo contribui para o desenvolvimento da cultura por fornecer N pela simbiose com bactérias fixadoras de N. A eficiência ótima desse processo necessita de quantidade adequada de Mo pois esse micronutriente participa do funcionamento da enzima nitrogenase, envolvida no processo de fixação de N (Chatterjee et al., 2017) e ainda é cofator da enzima nitrato redutase (Hansch e Mendel, 2009).

Na cultura da soja, Gupta et al. (1991) relataram que o tratamento controle (sem Mo e SO₂) diminuiu a assimilação fotossintética de CO₂ quando submetida a estresse com dióxido de enxofre (SO₂). O tratamento com a maior dose de Mo (2 mg de Mo kg⁻¹ de solo) reduziu o impacto negativo na assimilação fotossintética de CO₂ e a atividade da enzima nitrogenase nos nódulos da raiz quando submetido ao estresse com SO₂. Esses autores demonstram que a adição de Mo na quantidade adequada ameniza os efeitos negativos do SO₂ e dão suporte ao aumento da assimilação fotossintética de CO₂, pois

fornece quantidade maior de energia para aumentar a atividade da nitrogenase nos nódulos das raízes.

A maior capacidade de assimilação fotossintética influencia diretamente na produção de fotoassimilados, o que pode significar uma planta com mais chances de suportar estresses bióticos e abióticos e de alcançar seu máximo potencial produtivo (Larcher, 2004).

A assimilação fotossintética de CO₂ em base massa foi obtida pela multiplicação entre a assimilação fotossintética de CO₂ e a área foliar específica e essa relação indica quanto pode ter sido produzido de fotoassimilados por unidade de área foliar. De acordo com pesquisa desenvolvida por Liu et al (2005) cujo objetivo foi determinar o efeito do Mo e/ou B no crescimento e fotossíntese por meio do estudo das variáveis comprimento da raiz principal, volume do sistema radicular, peso seco, área foliar, biomassa acima do solo e fotossíntese.

Esses autores perceberam que o fornecimento de molibdênio+boro na cultura da soja proporcionou aumento na biomassa acima do solo quando comparado aos tratamentos isolados com Mo, B e controle. O tratamento com Mo (0,0185 g) foi superior ao B e controle (Liu et al., 2005).

Nossos resultados foram similares, nos quais, sementes com alto conteúdo de Mo apresentaram, na ausência de N, maior assimilação fotossintética de CO₂ por unidade de área e por unidade de massa (Figura 3.B). O fornecimento da dose adequada de Mo e no momento fisiológico correto favorece o desenvolvimento da cultura do feijão-caupi, o que resultou na eficiente produção de fotoassimilados por área.

Na cultura do feijão-caupi, Shardendu et al. (2011) verificaram que houve maior taxa de transpiração, maior resposta da assimilação fotossintética de CO₂ e menor eficiência instantânea do uso da água em condições de irrigação, e concluíram que essa cultura transpirou excessivamente sem obter ganhos de assimilação fotossintética de CO₂. Esses resultados não corroboram com os obtidos na presente pesquisa, o que indica que as plantas de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba foram eficientes no uso da água por ter apresentado valores menores para o valor de g_s (<50%) e menor taxa de E, com maior assimilação fotossintética de CO₂.

Em experimento conduzidos por Reich et al. (1989) com *Ulmus americana* L testaram a resposta da eficiência instantânea do uso da água com a presença de N e verificaram que não somente a lâmina de água é determinante para o desenvolver a cultura de interesse mas também a presença do N. Independentemente do status hídrico da

planta, a eficiência instantânea do uso da água sempre foi maior em folhas de plantas sujeitas a maior disponibilidade de N. O resultado foi significativo para o maior conteúdo de Mo na semente, indica aumento da concentração de N foliar por meio do fornecimento de Mo para o feijão-caupi.

A área foliar específica reflete a espessura da folha e a proporção relativa entre superfície assimiladora e os tecidos mecânicos e condutores da folha (Benicasa, 2003). A área foliar da planta pode demonstrar a área da planta em relação a massa foliar disponível para a fotossíntese. Purbasha et al. (2018), com leguminosas tratadas com Mo e revestimento de cal na semente obtiveram relação positiva com aumento da área foliar. Dentre todos os incrementos, o mais nítido, o que pode indicar aumento da produção de fotoassimilados para o desenvolvimento da planta.

Em pesquisas desenvolvidas com a cultura da soja Liu et al. (2005) estudaram o crescimento e a resposta fotossintética da soja ao Mo e B aplicado no solo e concluíram que a área foliar específica respondeu significativamente na combinação de Mo + B, o que diferiu dos demais tratamentos (Mo, B e controle). A planta com maior área foliar aumenta a interceptação da radiação solar, convertendo em maior número de fotoassimilados utilizados para crescimento dos órgãos reprodutivos nas fases R1 a R4.

O Mo é um micronutriente importante no metabolismo do N por estar presente em várias enzimas (Liu, 2001) e contribuir para a estabilidade da molécula de clorofila, além de ampliar a área foliar, aspecto importante para realização da fotossíntese (Liu, 2000). A assimilação fotossintética de CO₂ é fortemente relacionada com o teor de N na folha, pois a fixação de CO₂ ocorre a partir da atividade da enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), constituída por compostos nitrogenados (Kitajima et al., 1997; Fyllas et al., 2009).

Na soja, as plantas com maior capacidade de nodulação apresentaram maior quantidade de nitrogênio foliar e elevada taxa fotossintética, entretanto, não apresentaram crescimento diferenciado das variedades de soja que possuem baixa nodulação (Matsunami et al., 2004). Os resultados obtidos demonstraram que as sementes enriquecidas com o maior conteúdo de Mo, sem adição de N, apresentaram valores mais altos de nitrogênio na folha e elevada assimilação fotossintética de CO₂ em base de área.

A capacidade das plantas em acumular biomassa depende de vários fatores tais como número de folhas ou área foliar, capacidade fotossintética das folhas individuais, capacidade de acumular ou utilizar eficientemente nutrientes, disponibilidade de nutrientes do solo e água (Marenco et al., 2003).

O crescimento das plantas de feijão-caupi foi maior quando foi usada sementes com maior conteúdo de Mo (Figura 4A e 4D). De acordo com Marschner et al. (2012), o maior conteúdo de Mo nas sementes, favoreceu a taxa de fixação de N pelos microrganismos devido sua participação na enzima nitrogenase, o que resulta em maior atividade dos nódulos das raízes.

A nodulação satisfatória requer consumo de energia, cerca de 6-14% de fotoassimilados, o que não seria suficiente para a redução dos componentes da produtividade (Kaschuk et al., 2012). O fornecimento de Mo em solos de baixa fertilidade natural favorecem o desenvolvimento da nodulação e fixação de N (Rahman et al., 2008).

A aplicação de Mo via foliar influenciou positivamente os teores de N foliar na cultura do feijão-comum (Rocha et al., 2011). A aplicação de Mo no sistema convencional e no plantio direto resultou em aumento do teor de N foliar, mesmo a menor dose utilizada, em condições de seca (Rocha et al., 2011). Independente dos sistemas de cultivo o teor de N foliar estava entre 25-27 g kg⁻¹ e na época de plantio da seca estava abaixo do recomendado para a suficiência da cultura que é de 30-35 g kg⁻¹ (Martinez et al., 1999).

A menor dose de Mo proporcionou valores de teor de N foliar entre 34-39 g kg⁻¹. Os valores do teor de N foliar da pesquisa estão acima dos valores obtidos por Rocha et al. (2011). A média dos resultados para o maior conteúdo de Mo foi de 40 g kg⁻¹.

A EFUN é uma relação entre a assimilação fotossintética de CO₂ em base de área e teor de N por unidade de área foliar e ambas as variáveis foram significativas para o maior conteúdo de Mo na semente, o que potencializou a EFUN. Rodriguez-López (2013) observou que a EFUN aumentou em função da maior reposição da assimilação fotossintética de CO₂ em base de área o que resultou em investimento para a o teor de N ou biomassa dos clones de café submetidos a sombreamento pelo turno da manhã.

Em estudos conduzidos por Mendes (2013) com espécies arbóreas na fase juvenil, a EFUN não foi correlacionada com o conteúdo de N pela limitação da radiação no sub bosque, o que afetou o conteúdo de N e P. De acordo com Reich (1989), em mudas de *Ulmus americana* irrigadas, os valores da EFUN apresentaram redução devido a deficiência de N nas folhas e a limitação não foi proporcionada pelos estômatos. Em condições de estresse moderado, a diminuição da condutância estomática ocasionou menor assimilação fotossintética de CO₂ por diminuir a entrada de CO₂ e, com isso, diminui a perda de água, o que proporcionou melhor eficiência instantânea do uso da água.

A eficiência fisiológica da cultura do feijão-caupi foi inversamente proporcional as outras variáveis citadas, pois a resposta foi menor para as sementes com conteúdo maior de Mo, que tiveram maior conteúdo de nitrogênio na planta, por isso a eficiência fisiológica foi menor do que as sementes com o menor conteúdo de Mo na semente.

A resposta da cultura foi mais acentuada por que os solos de baixa fertilidade natural e ácidos possuem menor faixa de disponibilidade e absorção de nutrientes (Kaiser et al., 2005), principalmente, os que necessitam de pH mais alto para estarem disponíveis as plantas, como o Mo, por isso o fornecimento de forma previa por meio do uso de sementes enriquecidas com os conteúdos de Mo favoreceram o suprimento desse micronutriente para a cultura do feijão-comum (Vieira et al., 2011), e evitar possíveis perdas por adsorção do nutriente.

CONCLUSÃO

Os resultados sugerem que o maior conteúdo de Mo da semente ($1,987 \pm 0,278$) aumentou a eficiência fotossintética do uso do nitrogênio e o crescimento das plantas quando não é fornecido N em cobertura. Os conteúdos de Mo da semente não influenciam o índice de colheita do feijão-caupi cultivado em solos coesos de baixa fertilidade natural. Recomenda-se utilizar essa tecnologia por ser barata, de fácil utilização, por melhorar a nutrição nitrogenada do feijão-caupi, além de reduzir os custos de produção com a compra de insumos nitrogenados.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros disponibilizados para a execução do projeto e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, C.A; Stape, J.L; Sentelhas, P.C. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22, 711–28. (2014).

Benicasa, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: Funep. 41p. (2003).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no registro nacional de cultivares - RNC. Brasília: MAPA. Anexo I. (2006).

Ciampi, S., Gentili, E., Guidi, L. & Soldatini, G. E. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. *PlantSci.* 118, 177–184 (1996).

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - Safra 2018/19, n.9 - Nono levantamento, Junho (2019).

Chatterjee, R.; Bandyopadhyay, S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 2017. Volume 16, Issue 4,, Pages 332-336,ISSN 1658-077X, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.11.001>. 2017.

EMBRAPA. - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Brasília: Embrapa. 306 p. (2013).

Evans, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 1989.78:9–19. DOI:[10.1007/BF00377192](https://doi.org/10.1007/BF00377192)

Fageria, N. K.; Melo, L. C.; Oliveira, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes, *Journal of Plant Nutrition*, 36(14):2179-2190, 2013.

Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2. 2013.

Fyllas, N. M., Patiño, S., Baker, T. R., Bielefeld Nardoto, G., Martinelli, L. A. Quesada, C. A., Paiva, R., Schwarz, M., Horna, V., Mercado, L. M., Santos, A., Arroyo, L., Jiménez, E. M., Luizão, F. J., Neill, D. A., Silva, N., Prieto, A., Rudas, A., Silviera, M., Vieira, I. C. G., Lopez-Gonzalez, G., Malhi, Y., Phillips, O. L., and Lloyd, J.: Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate, *Biogeosciences*, 2009.6, 2677-2708, <https://doi.org/10.5194/bg-6-2677-2009>.

Gupta, U.C; Lipsett J. Molybdenum in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy* 34: 73-115. (1981). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60885-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60885-8)

Hachiya, T.; Sakakibara, H. Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants. *Journal of Experimental*

Botany, Volume 68, Issue 10, 1 May 2017, Pages 2501–2512, <https://doi.org/10.1093/jxb/erw449>

Hansch, R., Mendel, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009.12, 259–266. DOI: [10.1016/j.pbi.2009.05.006](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006)

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B. & Gallais, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *J. Exp. Bot.* 58, 2369–2387 (2007).

Kaiser, B.N.; Gridley, K.L.; Brady, J.N.; Phillips, T. Tyerman, S.D. The role of molybdenum in agricultural plant production. *Ann. Bot.*, 2005. 96:745-754. doi:10.1093/aob/mci226

Kaschuk, G.; Yin, X.; Hungria, M.; Leffelaar, P.A.; Guiller, K.E. & Kuyper, T.W. Photosynthetic adaptation of soybean due to varying effectiveness of N₂ fixation by two distinct *Bradyrhizobium japonicum* strains. *Environmental and Experimental Botany*, 2012 76, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.10.002>

Kitajima, K.; Mulkey, S. S.; Wright, S. J. Decline of photosynthetic capacity with leaf age in relation to leaf longevities for five tropical canopy tree species. *American Journal of Botany*, 1997.v.84, n.5, p.702-708. DOI: 10.2307/2445906

Jin, X., Yang, G., Tan, C. & Zhao, C. Effects of nitrogen stress on the photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence, and sugar-nitrogen ratio in corn. *Sci. Rep.* 5, 9311; DOI:10.1038/srep09311 (2015).

Larcher, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima. 531p. (2004).

Lemaire, G.; van Oosterom, E.; Sheehy, J.; Jeuffroy, M.H.; Massignam, A.; Rossato, L. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crops Res.* 2007, 100, 91–106.

Li Y, Ren B, Ding L, Shen Q, Peng S, Guo S (2013) Does Chloroplast Size Influence Photosynthetic Nitrogen Use Efficiency? *PLoS ONE* 8(4): e62036. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062036>

Liu, P. The research development of molybdenum and boron nutrition in soybean. *China Agricultural Science Bulletin*, 2001.17: 41–44. DOI:10.17221/3574-pse

Liu, P., Yang, Y.S, Xu, G.D., Fang, Y.H., Y.A. Yang, R.M. Kalin. The effect of molybdenum and boron in soil on the growth and photosynthesis of three soybean varieties. *Plant Soil Environ*, 2005.51: 197–205. <https://doi.org/10.17221/3574-PSE>

- Marchiori, P. E. R., Machado, E. C. & Ribeiro, R. V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. *F. Crop. Res.* 155, 30–37 (2014).
- Martinez, H. E. P. et al. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p.143-168.(1999).
- Marengo, R.A., Vieira, G., Gonçalves, J.F.C. Leaf micronutrient concentrations and potential photosynthesis in *Ochroma pyramidale* established in a degraded land. *Acta Amazonica* .2003.33, 23–31. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392200331031>.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed.New York, Academic Press. 889p. (1995).
- Marschner, P. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press. 889p. (2012).
- Matsunami, T.; Kaihatsu, A.; Maekawa, T.; Takahashi, M.; Kokubun, M. Characterization of vegetative growth of a supernodulating soybean genotype, Sakukei 4. *Plant Production Science*, 2004.7, 165-171. <https://doi.org/10.1626/pp.s.7.165>
- Mendel, R. R.; Haensch, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *J Exp Bot.* 2002.53: 1689–1698. DOI:10.1093/jxb/erf038
- Mendes, K. R; Marengo, R. A.; Magalhaes, N.S. Crescimento e eficiência fotossintética de uso do nitrogênio e fósforo em espécies florestais da Amazônia na fase juvenil. *Rev. Árvore* [online]. 2013, vol.37, n.4, pp.707-716. ISSN 0100-6762. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400014>.
- Molly, P; Mechthild, T. Leaf Amino Acid Supply Affects Photosynthetic and Plant Nitrogen Use Efficiency under Nitrogen Stress. *Plant Physiology*®, September 2018, Vol. 178, pp. 174–188.
- Monteiro, F.P.R.; Chagas Junior, A.F.; Reis, M.R.; Santos, G.R.; Chagas, L.F.B. Efeitos de herbicidas na biomassa e nodulação do feijão-caupi inoculado com rizóbio. *Revista Caatinga*, 2012. 25:44- 51
- Nguyen, J. Plant xanthine dehydrogenase: its distribution, properties and function, *Physiol. Veg.* 1986. 24 163–281. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80266-7](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80266-7)
- NUGEO, Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, Laboratório de Meteorologia, http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81, acesso em maio de 2018.
- Onoda Y, Hikosaka K, Hirose T (2004) Allocation of nitrogen to cell walls decreases photosynthetic nitrogen-use efficiency. *Funct Ecol* 18: 419–425.

Pacheco R.S., Brito L.F., Staliotto R, Pérez D.V., Araújo A.P. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Research*, 2012. 136:97-106.

Perecin, D, Filho, A.C. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Cienc Agrotec*. 2008;32:68-72.

Pons, T. L. & Westbeek, M. H. M. Analysis of differences in photosynthetic nitrogen-use efficiency between four contrasting species. *Physiol. Plant*. 122, 68–78 (2004)

Purbasha, P. Padhi.; Pattanayak, S.K. Effect of Lime Coating and Molybdenum Seed Treatment on Nodulation, Growth and Yield of Different Pulses Grown in Alfisols. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 7(02): 1417-1426.doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.171.2018>. (2018).

Rahman, M.M., Bhuiyan, M.M.H., Sutradhar, G.N.C., Rahman, M. M., Paul, A.K., Effect of phosphorus, molybdenum and Rhizobium inoculation on yield and yield attributes of mungbean. *Int. J. Sustain. Crop Prod*. 3, 26–33. (2008).

Raij, B.van.; Andrade, J.C.; Cantarella, H.;Quaggio, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p

Reich, P. B., Walters, M. B., & Tabone, T. J. Response of *Ulmus americana* seedlings to varying nitrogen and water status. 2 Water and nitrogen use efficiency in photosynthesis. *Tree Physiology*, 5(2), 173–184.doi:10.1093/treephys/5.2.173. (1989).

Rocha, P. R. R.; Araújo, G. A. A.; Carneiro, J. E. S.; Cecon, P. R.; Lima, T. C. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, v.24, p.9-17. (2011).

Rodríguez-López, N. F.; Cavatte, P. C.; Silva, P. E.; Martins, S. C.; Morais, L. E.; Medina, E. F.; Da Matta, F. M. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. *Physiologia plantarum*, v. 149, n. 1, p. 45-55. (2013). <https://doi.org/10.1111/ppl.12010>.

Rubio, L.M.; Ludden, P. W. Biosynthesis of the Iron-Molybdenum Cofactor of Nitrogenase. *Annu. Rev. Microbiol*. 2008. 62:93–111. (2008). DOI: [10.1146/annurev.micro.62.081307.162737](https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162737)

Sapucay, M.J.C.; Vieira, R.F.; Carneiro, J.E.S.; Junior, T.J.P.; Lima, M.S.; Vidigal, S.M. Is it possible to attain high-yielding common bean using molybdenum fertilizer instead of side-dressed nitrogen?. *J. Plant Nutrition*.; 39:1644–1653. (2016). <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1161782>

Santos Júnior, U.M.; Gonçalves, J.F. de C.; Feldpausch, T.R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.226, p.299-309, 2006.

Schwarz, G.; Mendel, R. R.; Ribbe, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nature*, v. 460, n. 7257, p. 839-847. (2009). https://doi.org/10.1007/978-94-017-9972-0_4.

Shardendu K. Singh, K. Raja Reddy, Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Volume 105, Issue 1. Pages 40-50, ISSN 1011-1344. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>. (2011).

Schwarz, G.; Mendel, R.R. Molybdenum cofactor biosynthesis and molybdenum enzymes. *Annual Review of Plant Biology* 57: 623–647. (2006). DOI:[10.1146/annurev.arplant.57.032905.105437](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105437)

Silva, K. J. D; Rocha, M. M; Menezes, J. J. A. N; Empresa brasileira de pesquisa agropecuária-Embrapa, meio Norte; cultura do feijão-caupi no Brasil Teresina-PI. (2016).

Matsui, T.; Singh, B. B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. *Experimental Agriculture*, v. 39, p. 29-38, 2003.

Sodré, D. N. Sementes de feijão-caupi com alto conteúdo de molibdênio originam plantas mais produtivas em solos com baixa fertilidade natural na Amazônia Oriental / Danilo Nunes Sodré. – São Luís, 2019. 58

Sugiharto, B., Miyata, K., Nakamoto, H., Sasakawa, H. & Sugiyama, T. Regulation of expression of carbon-assimilating enzymes by nitrogen in maize leaf. *Plant Physiol.* 92, 963–969 (1990).

Souza, R. F. de. Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro. 2005. 141 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, (2005).

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*.4. ed. Porto Alegre: Artmed, (2009).

Takashima T, Hikosaka K, Hirose T (2004) Photosynthesis or persistence: nitrogen allocation in leaves of evergreen and deciduous *Quercus* species. *Plant Cell Environ* 27: 1047–1054.

Tedesco, M. J.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H.; Gianello, C.; Bissani, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 215p. (Boletim Técnico de Solos, 5). (1995).

Teófilo, E. M.; Dutra, A.S.; Pitombeira, J.B.; Dias, F.T.C.; Barbosa, F.S. Potencial fisiológico de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n.3, p. 443-448, 2008.

Vieira, R.F; Salgado, L.T; Ferreira, A.C.C. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, 28:393-377. (2005). <https://doi.org/10.1081/PLN-200047631>

Vieira, R.F., T.J. Paula Júnior, A.A. Pires, J.E.S. Carneiro, and G.S. Rocha. Common bean seed complements molybdenum uptake by plants from soil. *Agronomy Journal* 103: 1843-1848. (2011). DOI:10.2134/agronj2011.0115.

Vieira, R.F.; Paula Junior, T.J.; Carneiro, J.E.S.; Queiroz, M.V. Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Rev. Bras. Cienc. Solo*; 38:205-213. (2014). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100020>

Vieira, R. F, Paula, T. J., Prado, A. L., Araújo, R. F., Lehner, M.S., Silva, R. A. A aplicação foliar de molibdênio na fase de enchimento de vagens do feijão-comum pode reduzir a qualidade da semente. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 62, n.4, p. 415-419, jul-ago, (2015). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562040012>.

Williams, R.J.P.; Frausto da Silva, J.J.R. The involvement of molybdenum in life. *Biochem Biophys Res Commun* 292: 293–299. (2002). DOI:[10.1006/bbrc.2002.6518](https://doi.org/10.1006/bbrc.2002.6518)

ANEXO

ANEXO 1. Normas para publicação da Revista Brasileira do Solo

INFORMAÇÕES GERAIS

Idioma

Ao submeter seu manuscrito para RBCS, recomendamos que o artigo seja revisado por um profissional, especialmente se o inglês não é sua primeira língua. A revisão não é obrigatória, mas assegurará que o conteúdo científico esteja adequado para ser compreendido pelos revisores e editores. Após a aceitação do manuscrito, os editores poderão requerer, se necessário, a revisão do texto por um dos profissionais indicados nesse guia. Manuscritos com inglês inapropriado terão o processo de revisão interrompido/rejeitado pelos Editores e/ou revisores.

Exclusividade e originalidade

Não são aceitos manuscritos submetidos ou já publicados, ainda que parcialmente, em outra revista. O caráter de exclusividade deve ser declarado na *cover letter*. A Revista aceita manuscritos com conteúdo que tenha sido integralmente ou parcialmente divulgados na forma de resumos ou resumo expandido em congresso, ou que sejam parte de monografia, dissertações ou teses acadêmicas. As não conformidades do manuscrito quanto a exclusividade e originalidade serão de inteira responsabilidade do autor correspondente.

Conflito de interesse

Deverá ser declarado na *cover letter* que não há conflito de interesse dos autores de caráter financeiro, pessoal ou de outra natureza que tenha influenciado a produção do trabalho.

Autores

Todos os autores deverão ter o registro ORCID - Connecting Research and Researchers (<https://orcid.org/register>), o qual é exigido na submissão do ScholarOne™. O autor correspondente deve declarar na *cover letter* que todos os autores estão cientes e de acordo com a submissão do manuscrito. A manifestação de desconhecimento ou desacordo com a submissão por qualquer de um dos autores resultará na interrupção da tramitação do manuscrito. A troca do autor correspondente não é permitida. Alteração na ordem, ou a inclusão de autores será possível na etapa de revisões do manuscrito e

deverá ser devidamente argumentada. A contribuição de cada autor para a concepção e produção do manuscrito deverá ser declarada na *Title Page*.

Manuscrito

Os manuscritos devem ser redigidos seguindo as normas para redação científica. A publicação de um experimento em partes (fracionamento do conteúdo) deve ser evitada, mas se comprovadamente necessária, os manuscritos devem ser submetidos em sequência, o que deve ser informado nas respectivas *covers letters*. O manuscrito deve-se adequar a uma das condições:

Artigo Científico – É fundamentado em uma hipótese científica original e ainda não esclarecida, que foi testada por meio de experimentação e, ou modelos teóricos, fundamentados no método científico, com adequado planejamento estatístico e discussão com adequada argumentação científica. Serão priorizados artigos que contribuam para a compreensão de processos/mecanismos que ocorrem no solo. As comparações de métodos, de variedades, de tipos de manejo, etc, se adequarão, excepcionalmente, à categoria de artigo científico apenas quando apresentarem base e, ou, justificativas científicas bem argumentadas e discutidas. O artigo deve conter Título, *Highlights*, *Abstract*, Palavras Chaves, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Referências e pode conter Tabelas e Figuras. É permitida a inclusão de material suplementar (ver Submissão).

Nota científica – Categoria de produção científica que descreve uma técnica, um aparelho, uma nova espécie ou observações e levantamentos de dados limitados a experimentos não repetíveis ou outras situações únicas. Uma nota científica não é um artigo de qualidade inferior. É, em geral, mais curta que o artigo científico. Não precisa ter a estrutura, mas deve obedecer ao mesmo rigor científico do artigo científico e tem o mesmo valor como publicação. Também é permitida a inclusão de material suplementar.

Revisão de Literatura – A submissão de revisão poderá ser espontânea ou induzida por convite do Editor Chefe, mas ambas passam pelo mesmo processo de tramitação. Além de apresentar o estado do conhecimento a respeito de um tema específico, a revisão deve ter um caráter analítico e crítico, além de conter sugestões para pesquisa.

Carta ao Editor – Deve conter comunicação de matéria relevante para a ciência do solo ou comentário cientificamente crítico de artigos publicados na Revista. Nessa circunstância será concedido aos autores do referido artigo o direito de contra argumentar.

SEÇÕES DOS MANUSCRITOS

A submissão do manuscrito será por meio da plataforma ScholarOne™ acessada pelos links: www.rbc.org.br http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=01000683&lng=en&nrm=iso <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbc-scielo>.

Os documentos obrigatórios para submissão são: cover letter, title page e main document. Tabelas, figuras e material complementar são opcionais.

Formatação

Todos os documentos devem ser produzidos em editor de texto, preferencialmente com o uso do Microsoft Word. Recomenda-se que o texto seja alinhado à esquerda, com fonte 12 e com espaçamento entre linhas de 1,5. Não deve ser inserido numeração de linha, porque elas são geradas na conversão automática do documento para o formato pdf pelo sistema de submissão.

Cover letter

A cover letter deve conter: 1) título do manuscrito, 2) declaração de que o trabalho é original e que não foi submetido nem publicado, na íntegra ou em parte, em nenhuma outra revista, 3) declaração de que todos os autores estão cientes do conteúdo do manuscrito e de acordo com a sua submissão, 4) declaração de que não há conflito de interesse financeiro, pessoal ou institucional com as informações e os resultados divulgados por meio do presente manuscrito e 5) informação sobre a relevância do artigo, ressaltando-se o problema, a(s) hipótese(s), o(s) objetivo(s) e, principalmente, o ganho de conhecimento que ele propicia para a ciência do solo. O item 5 será usado na avaliação preliminar sobre o mérito científico do artigo e será a base para decidir sobre o seguimento (ou não) no processo de avaliação.

Title Page

Deve conter o título de manuscrito. Os nomes dos autores sem abreviações e sem titulação. As afiliações de cada um dos autores, vinculadas por chamadas numéricas, indicando sem abreviações Instituição, Instituto, Departamento, Programa, Cidade, Estado e País. As contribuições de cada um dos autores, também vinculadas por chamadas (porém, em vez de números, deve-se utilizar letras sobrescritas entre parênteses), para a produção do artigo, expressas de forma sucinta, mas compreensiva. As contribuições serão publicadas na versão final do artigo. Agradecimentos aos indivíduos que contribuíram para a realização da pesquisa e produção do manuscrito e às instituições ou organizações públicas ou privadas que deram suporte financeiro ou logístico para a pesquisa.

Main Document

O documento é composto pelo Título, *Highlights*, *Abstract*, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões e Referências.

Título: Deve ser conciso e informativo, evitando símbolos, abreviaturas e fórmulas. Recomenda-se que contenha no máximo 20 palavras. É importante considerar que o título é utilizado nos sistemas de busca.

Highlights: Deve-se fornecer de 3-5 pontos que representem as principais conclusões/resultados do manuscrito. Cada ponto apresentado deve conter no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Abstract: Deve ser conciso e factual, contendo no máximo 400 palavras. O abstract é uma parte independente do artigo, portanto, ele deve ser suficiente por si só para apresentar as principais informações do artigo. Iniciar com uma breve caracterização do problema e a relevância do trabalho. O objetivo deve ser apresentado de forma explícita. Apresentar informações relevantes do material e métodos, os resultados mais importantes e a(s) conclusão(ões). Não deve incluir citações bibliográficas e símbolos ou abreviações que requeiram a leitura do texto para sua compreensão. Símbolos e abreviações necessárias devem ser definidas na primeira utilização no abstract.

Palavras-chave: Apresentar até cinco palavras diferentes daquelas que constam do título. Não utilizar preposições ou conjunções, tais como “de”, “ou”, “e”. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras. Utilizar abreviações somente se forem de amplo conhecimento.

Introdução: A Introdução deve ser clara e concisa, mas suficiente para evidenciar a relevância do problema abordado. As citações bibliográficas devem ser específicas e atualizadas, preferentemente de revistas com elevado índice de impacto. Evitar citações de tese, dissertações, boletins, anais de congressos e outros documentos de difícil acesso. A hipótese deve ser mencionada de forma explícita. A hipótese é uma afirmação (explicação) cuja verossimilidade pode, ou não, ser verificada e a partir da qual se extrai uma conclusão. Portanto, a hipótese não deve ter a conotação de pergunta nem condicional; ela deve ser uma afirmativa, utilizando-se o verbo no indicativo presente, com uma relação causa-efeito. A introdução deve ser finalizada com a indicação do(s) objetivo(s).

Material e Métodos: Pode ser dividido em subitens para facilitar a apresentação dos procedimentos adotados. Deve ser suficientemente detalhado para permitir que o trabalho possa ser repetido. As informações devem ser ordenadas segundo uma hierarquia lógica, que possibilite uma fácil compreensão. Para trabalhos de campo é relevante indicar a localização com as coordenadas geográficas, condições climáticas e classe de solos. Para os artigos que contemplam estudos no Brasil, a classificação dos solos deve ser feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, edição 2018) e, adicionalmente, apresentar entre parênteses, a classe equivalente consistente com sistemas de classificação internacionais (WRB ou Soil Taxonomy). Para a classificação em sistemas internacionais poderá ser utilizada a tabela de equivalência parcial, disponível no site da revista ou no Anexo J do SiBCS. Se os dados completos estiverem disponíveis, os solos podem ser também classificados de acordo com algum dos sistemas internacionais. Para realizar a correspondência das classes de solos, consulte a **Tabela de Equivalência** fornecida neste site ou o Apêndice J do SiBCS. Artigos originados de autores estrangeiros, em que os solos foram inteiramente analisados e classificados em um dos sistemas internacionais (Soil Taxonomy ou WRB) não precisarão informar a classificação no SiBCS. Métodos já consagrados podem ser citados com base em uma referência, destacando alterações somente se forem

relevantes. Citar os nomes de reagentes, assim como nomes, modelos e marcas de equipamentos somente se forem indispensáveis para a repetição da pesquisa. Informar de forma clara o delineamento experimental e o procedimento estatístico empregado na análise dos resultados. Indicar o software utilizado na análise estatística apenas se for relevante.

Resultados: Os resultados devem ser apresentados de forma objetiva e concisa, utilizando tabelas, ou, preferencialmente quando possível, figuras contendo gráficos, imagens ou modelos esquemáticos. É recomendado não utilizar mais de quatro tabelas e quatro figuras. No relato dos resultados evitar a transcrição para o texto dos valores numéricos já apresentados nas tabelas e figuras. Citações das tabelas e figuras podem ser apresentadas no fluxo do texto, como por exemplo, tabela 1 ou figura 1, ou em destaque entre parêntese (Tabela 1 ou Figura 1).

Discussão: Deve ser desenvolvida com base nos resultados relevantes, sem repetir a apresentação dos resultados. A discussão deve apresentar argumentos que evidenciem a aceitação ou a rejeição da(s) hipótese(s) do trabalho. Ela deve dar sustentação para as conclusões. Resultados já publicados podem ser citados para dar suporte aos argumentos, sem, contudo, fazer discussão sobre eles. Evitar citações excessivas, como aquelas que dão suporte a conceitos básicos e de conhecimento já consagrado.

Conclusões: As conclusões devem ser coerentes com a(s) hipótese(s) e objetivo(s) e não devem ser repetição dos resultados. Não devem ser numeradas nem apresentadas na forma de itens. Devem ser apresentadas como um curto texto de forma clara sem argumentos e justificativas e suficiente por si, isto é, sem a necessidade de recorrer aos resultados e à discussão.

Referências bibliográficas: Toda citação utilizada ao longo do texto deve ser incluída na lista de referências. Não é recomendado inserir comunicação pessoal na lista de referências. As referências devem ser sequenciadas prioritariamente em ordem alfabética e secundariamente em ordem decrescente da data da publicação. As referências devem ser apresentadas na língua original da publicação. Na submissão não será exigido uniformização do estilo das referências. No entanto, a padronização será exigida, obrigatoriamente, para os manuscritos aceitos, assim, sugere-se que já na submissão

adote-se o estilo recomendado. Adota-se o estilo de Vancouver adaptado, conforme exemplos:

Citação no texto

As citações podem ser diretas como por exemplo, Ferguson (2016) ou destacadas entre parênteses (Roberts, 2015). Manuscritos com dois autores devem ser citados como: Autor 1 and Autor 2 (Ano) ou (Autor 1 and Autor 2, Ano). Exemplo: Silva and Smith (1975) ou (Silva and Smith, 1975). Para manuscritos com mais de dois autores, deve-se utilizar o último nome do primeiro autor, seguido pela expressão latina abreviada “et al.” E ano de publicação. Exemplo: Roberts et al. (2015) ou (Roberts et al., 2015).

Várias citações agrupadas entre parêntese devem ser sequenciadas em ordem cronológica e, quando o ano se repete, prevalece a ordem alfabética). Exemplos: (Tanaka and Yano, 2005; Jackson et al., 2008). Manuscritos cujos autores e o ano de publicação são os mesmos, devem ser identificados por letras ‘a’, ‘b’, ‘c’, etc., alocadas após o ano de publicação. Exemplos: Silva (1975a, b) ou (Silva, 1975a, b).

Comunicação pessoal deve ser citada somente se for imprescindível, indicando-se o nome do informante e a data entre parêntese. A comunicação deve ser vinculada a uma nota de rodapé numerada, onde se inclui o nome do informante, a data que a informação ocorreu, estado e país da Instituição de vínculo do informante e não deve constar da lista de Referências *Referenciando periódicos* Autor AA, Autor BB. Título do artigo. Título abreviado do periódico. Ano de publicação; volume: páginas inicial e final. DOI.

A abreviatura dos periódicos pode ser verificad

em: <https://www.library.caltech.edu/journal-title-abbreviations>. Exemplos: Camargo LA, Marques Júnior J, Pereira GT. Spatial variability of physical properties of an Alfisol under different hillslope curvatures. Rev Bras Cienc Solo. 2010;34:617-30. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300003>

Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma. 2006;132:273-90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.025>

Livro

Author AA, Author BB. Título da publicação. Número da edição (se for a primeira edição, não precisa informar). Local da publicação: Editora; ano de publicação.

Exemplos:

Klug HP, Alexander LE. X-ray diffracton procedures for polycrystalline and amorphous materials. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1974.

Ab'Sáber A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial; 2012.

Capítulo de livro

Autor AA, Autor BB. Título da parte referenciada seguida de In: Editor AA, Editor BB, editores. Título da publicação. Número da edição. Local de publicação: Editora; ano. Páginas inicial e final. Exemplos:

Jackson ML. Chemical composition of soil. In: Bear FE, editor. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York: Reinhold; 1964. p. 71-141.

Sharpley AN, Rekolainen S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE, editors. Phosphorus loss from soil to water. New York: CAB International; 1997. p. 1-53.

Anais de Congresso

Autor AA, Autor BB. Título do trabalho. In: Tipo de publicação, número e título do evento [CD-ROM, quando publicado em]; data do evento (dia mês ano); cidade e país de realização do evento. Cidade (da Editora): Editora ou Instituição responsável pela publicação; ano de edição (nem sempre é o mesmo do evento). Paginação do trabalho ou do resumo. Exemplos:

Bailey TB, Swan JB, Higgs RL, Paulson WH. Long-term tillage effects on continuous corn yields. In: 8th Annual conference proceedings - Annual conference on applied statistics in agriculture; 1996 Apr 28-30; Manhattan, Kansas. Manhattan: Kansas State University Libraries; 1996. p. 17-32.

Fonte digital

Autor AA, Autor BB (usar nome de organizações/institutos quando não houver autor ou editor explícito). Título do material referenciado. Local de publicação (se houver):

Editora (se houver); Ano [cited ano mês dia]. Available from: URL. Exemplos:

Institute for Reference Materials and Measurements - IRMM. Certified reference material BCR - 142R; 2007 [cited 2016 Jan 18]. Available from:

http://www.lgcstandards.com/medias/sys_master/pdfs/pdfs/ha6/hc4/9208111169566/BCR-142R-ST-WB-CERT-1515931-1-1-1.pdf.

Dissertações e teses

Autor AA. Título da tese incluindo subtítulo se houver [grau acadêmico]. Cidade: Instituição onde foi defendida; ano. Exemplo:

Brienza S Jr. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil [thesis]. Göttingen: University of Göttingen; 1999.

Tabelas: As tabelas não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer acima da tabela e devem conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão da tabela devem ser apresentadas como notas logo abaixo da tabela, devidamente numeradas com números sobrescritos e entre parênteses. Linhas horizontais são utilizadas apenas no topo da tabela para destacar as variáveis e para finalizar a tabela. No interior da tabela não devem conter linhas verticais e horizontais. As unidades referentes aos resultados devem aparecer no interior da tabela acima da primeira linha de resultados. As tabelas devem ser produzidas com ferramenta específica dos softwares editores de texto, preferencial, o MS Word ou MS Excel. Não inserir tabelas no formato de imagem. Evitar tabelas compostas por apenas uma linha de resultados ou uma coluna de variáveis. As tabelas devem ser ajustadas ao formato retrato. Asteriscos ou letras indicando significância e diferença estatística, respectivamente, devem ser alocados na mesma célula que os valores. Não insira linhas e colunas vazias na tabela. Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas tabelas.

Figuras: Figuras são elementos que podem conter gráficos em planos cartesianos ou tridimensionais, imagens ou modelos esquemáticos. As figuras não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer abaixo da figura e deve conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão das figuras devem ser apresentadas como notas logo abaixo da figura. Em figuras com mais de um gráfico, eles devem ser identificados no canto superior esquerdo com as letras (a), (b), (c), etc. e devem ser devidamente identificados no título da figura. Recomenda-se não utilizar figuras com mais de quatro gráficos. As figuras devem ter formato retrato. Na submissão serão aceitas figuras nos formatos EPS, TIFF e PDF (JPG e GIF são aceitáveis). Após aprovação do manuscrito será requerido o envio das figuras em formato editável, ou seja, salva como projeto dentro dos programas que as geraram. Não serão aceitas figuras gráficas inseridas como imagem. Fotografias devem estar no formato *tagged image* (TIF) com 500 dpi. O estilo nas figuras deve acompanhar o padrão adotado ao longo do texto (mesma fonte, unidades, etc). Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas figuras.

Fórmulas e equações: Devem ser inseridas como texto editável, não como imagens. Fórmulas e equações devem ser criadas por ferramentas de edição de equações disponíveis em softwares de edição de texto (Word, por exemplo) ou outra ferramenta que permita editá-las. Ao longo do texto, as equações devem ser citadas como equation 1 ou destacadas entre parênteses (Equation 1). Devem ser numeradas sequencialmente no canto direito como Eq. 1, Eq. 2, Eq.3, etc.

Material Complementar: Com a opção de material complementar é possível produzir artigos mais concisos focados nas informações mais relevantes. Materiais complementares são tabelas, figuras, modelos, fotografias, planilhas de dados, esquemas de processos ou equipamentos, que contribuam para dar maior suporte ao artigo. Todo material suplementar deve conter um título sucinto com os esclarecimentos necessários para a sua compreensão. O material suplementar não deve receber citações no texto do artigo. A existência de material suplementar ao artigo será indicada após as referências, com link de acesso. O material suplementar não será diagramado e será publicado na forma apresentada pelo autor. Sugere-se que as tabelas e figuras atendam os padrões de composição e formatação indicadas anteriormente.