

SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO
FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Botucatu

2021

SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO
FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre Agronomia (Agricultura).

Orientador(a): Carlos Alexandre Costa
Crusciol

Botucatu

2021

O48a	Oliveira, Sirlene Lopes de Adubação foliar de molibdênio melhora o metabolismo fotossintético e aumenta produtividade de soja e milho / Sirlene Lopes de Oliveira. -- Botucatu, 2021 55 p. : il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol 1. Nutrição de plantas. 2. Adubação foliar. 3. Glycine max L. (Merr.). 4. Zea mays L.. I. Título.
------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

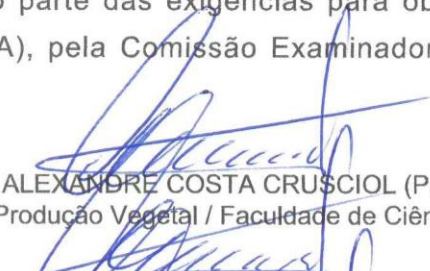
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ADUBAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO MELHORA O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO

AUTORA: SIRLENE LOPES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

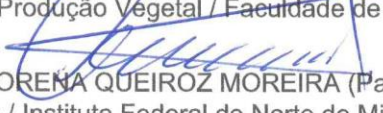
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PORTUGAL (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Profa. Dra. LAÍS LORENA QUEIROZ MOREIRA (Participação Virtual)
Fertilidade do Solo / Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

Botucatu, 05 de julho de 2021.

Aos meus pais

Antônio Edson e Valdecir Oliveira

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por abençoar meu caminho.

À minha família pelo apoio incondicional.

Ao meu namorado Valdomiro Júnior pelo apoio e compreensão.

Ao Prof. Dr. Carlos A. C. Crusciol, pela orientação, ensinamentos, incentivo, paciência e exemplo de professor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa de mestrado (Processo nº 130646/2019-9).

À Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” pela oportunidade de realizar o mestrado e pela contribuição na minha formação profissional.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura por todo o suporte na realização desta pesquisa.

Aos meus colegas de pós-graduação, Vitor Alves, Gabriel Oliveira, Tatiani Galeriani, João Bossolani, Rafael Vilela, Leila Bernart, Luiz Gustavo Moretti, Fernanda Marcolan e Mariley Fonseca pelo companheirismo e valiosa contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos alunos de graduação Guilherme Noronha, Alisson Mariano, Gustavo Barreto, Pedro Viotto, Frabrizio Bianchi, e tantos outros sem os quais, esta pesquisa não seria possível.

Às minhas amigas de república, Claudia Vilalva e Larissa Moreira, pelos momentos descontraídos e por tornar esta jornada menos árdua.

Aos membros da banca, Dr. José Roberto Portugal e Prof^a, Dr^a. Lais Lorena Queiroz Moreira por aceitarem o convite e dedicarem tempo em avaliar este trabalho.

Aos servidores da Faculdade de Ciências Agrárias – Unesp Botucatu, pelos valiosos serviços prestados.

A todos que de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

DE BEAUVOIR, Simone; HESSE, Gisela. **Mémoires d'une jeune fille rangée**. Paris: Gallimard, 1958. 502 p.

RESUMO

A adubação foliar tem sido empregada como uma estratégia suplementar de nutrição de plantas, principalmente em lavouras de alto potencial produtivo. Nestas condições, os nutrientes aplicados em pequenas doses podem apresentar um efeito estimulante da fotossíntese, aumentando o seu desempenho produtivo. Devido a sua alta mobilidade na planta e a necessidade de baixas doses, o molibdênio pode ser aplicado via foliar, minimizando possíveis perdas da aplicação via solo. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência da aplicação foliar de molibdênio em soja e milho em dois anos agrícolas. A soja foi cultivada nas safras de verão em 2018/2019 e 2019/2020 e o milho foi cultivado na segunda safra dos anos de 2019 e 2020. Os experimentos foram realizados na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu. A dose utilizada foi a de 0,20 L ha⁻¹ de molibdato de potássio, cujas aplicações foram realizadas no estágio V₄ na soja e no milho, respectivamente. As avaliações realizadas em todos os experimentos consistiram na determinação do status nutricional das plantas, atividade da Nitrato Redutase (NR), parâmetros de trocas gasosas, enzimas fotossintéticas (Rubisco na soja e milho e PEPcase no milho), concentração de açúcar solúvel total, teor de proteína na folha, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade. A aplicação de Mo proporcionou incrementos na atividade da NR, dos teores de nitrogênio e de proteína nas folhas de soja. Houve também aumento da atividade da enzima Rubisco, fotossíntese líquida e incrementos na produtividade da soja e do milho. Os resultados desta pesquisa demonstram que a aplicação foliar de molibdênio foi eficiente no tocante ao metabolismo do nitrogênio e modulou a resposta da planta quanto a fixação do carbono culminando em melhoria da produtividade das culturas.

Palavras-chave: *Glycine max* L. (Merr.); *Zea mays* L.; efeito estimulante; atividade fotossintética, absorção de nitrogênio.

ABSTRACT

Foliar fertilization has been used as a supplemental strategy for plant nutrition, especially in crops with high yield potential. Under these conditions, nutrients applied in small doses can stimulate effect on photosynthesis and increase yield performance. Due to its high mobility in the plant and the need for low doses, molybdenum can be applied through the leaves, minimizing possible losses when applied through the soil. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of foliar application of molybdenum in soybean and maize in two crop years. Soybean was grown in the summer crops 2018/2019 and 2019/2020 and maize in the second crop 2019 and 2020. The experiments were conducted at Lageado Experimental Farm, which belongs to the faculty of Agronomic Sciences of Sao Paulo State University - Botucatu. The dose used was 0.20 L ha⁻¹ of potassium molybdate, whose applications were carried out at stage V₄ in soybean and maize, respectively. The evaluations carried out in all the trials consisted in determining the nutritional status of the plants, nitrate reductase (NR) activity, gas exchange parameters, photosynthetic enzymes (Rubisco in soybean and maize and PEPcase in maize), total soluble sugar concentration, leaf protein content, number of grains per plant, mass of 100 grains and yield. Application of Mo resulted in an increase in nitrogen and protein content in soybean and maize leaves. There was also an increase in Rubisco enzyme activity, net photosynthesis, and an increase in soybean and maize. The results of this research indicate that foliar application of molybdenum was efficient in terms of nitrogen metabolism and modulated the plant's response to carbon fixation, resulting in improved crop yields.

Keywords: Glycine max L. (Merr.); Zea mays L.; stimulant effect; photosynthetic activity, nitrogen absorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Balanço hídrico climatológico referente às safras de soja (a, 2018/19; c, 2019/20) e milho (b, 2019; d, 2020) cultivadas em Botucatu, SP, Brasil. ETc: evapotranspiração da cultura; ETr: evapotranspiração real. As setas indicam o momento das pulverizações e das amostragens. 33
- Figura 2 - Teores de macronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. N (a, b), P (c, d), K (e, f), Ca (g, h), Mg (i, j), e S (k, l). 34
- Figura 3 - Teores de micronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. Mo (a, b); B (c, d); Fe (e, f); Cu (g, h); Mn (i, j); Zn (k, l). 35
- Figura 4 - Atividade da NR ativa (a, b) e NR total (c, d) em folhas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência de Mo aplicado via foliar. 36
- Figura 5 - Fotossíntese líquida, A (a, b); condutância estomática, gs (c, d); concentração de CO₂ na câmara subestomática, Ci (e, f); transpiração foliar, E (g, h); eficiência do uso da água, EUA (i, j); e eficiência da carboxilação, A/Ci (k, l) de plantas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. 37
- Figura 6 - Concentração de proteína foliar e açúcar total nas folhas de soja (a) e milho (b) sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 38
- Figura 7 - Atividade das enzimas PEP Carboxilase (a, b) e Rubisco (c, d) de plantas de soja e milho sob sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 39
- Figura 8 - Componentes de produção: Número de vagens por planta (a), número de grãos por vagem (b) em plantas de soja e prolificidade (c), número de grãos por espiga (d) em plantas de soja e milho efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 40
- Figura 9 - Componentes de produção: Número de grãos por planta (a, b), massa de cem grãos (c, d) e produtividade de grãos (e, f) em plantas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo. 39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	O molibdênio no solo e na planta	21
2.2	Adubação foliar de molibdênio	23
2.3	Molibdênio via foliar em soja e milho	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Descrição da área experimental	26
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	27
3.3	Adubação e tratos culturais.....	27
3.4	Avaliações experimentais	28
4	RESULTADOS	33
4.1	Condições climáticas	33
4.2	Status nutricional.....	34
4.3	Atividade da Nitrato redutase	35
4.4	Parâmetros fotossintéticos e assimilação do carbono	36
4.5	Componentes de produção e produtividade	39
5	DISCUSSÃO	42
6	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* L. (Merr.)] e o milho (*Zea mays* L.) são algumas das culturas mais importantes no cenário mundial (XU et al., 2020). Em 2019, estas culturas ocuparam uma área global de cerca de 120 e 197 milhões de hectares, respectivamente (FAO, 2019). Com o aumento da demanda pelo fornecimento de alimentos, são discutidas tecnologias que otimizem a produção agrícola sem aumentar o consumo de recursos naturais (SCHRÖDER et al., 2019). Neste sentido, a adubação foliar tem se mostrado como uma técnica importante não somente para correção nutricional, mas também como uma estratégia para o aumento da produção vegetal, ainda que as plantas não apresentem deficiências nutricionais (ROSOLEM, 2002). Neste caso, a adubação foliar assume função suplementar que, quando aplicada em pequenas doses do nutriente e em estágios fenológicos estratégicos, pode atuar como um estimulante do metabolismo do carbono, contribuindo ainda, para uma maior tolerância a estresses abióticos, como o déficit hídrico (ALEXANDER, 1986; HUSSAIN et al., 2021; PRIMAVESI, 1978; RODRIGUES et al., 2021). Nos últimos anos, a adubação foliar tem sido aprimorada com a adoção de tecnologias que favorecem a absorção foliar, garantindo resultados satisfatórios no incremento da produtividade (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

A adubação suplementar de micronutrientes, sobretudo de molibdênio (Mo), é uma prática cujos impactos sobre o metabolismo e produção vegetal ainda possuem lacunas, principalmente sob condições de campo. O Mo é um metal constituinte de enzimas fundamental para a absorção, assimilação e transporte de nitrogênio (N) nas plantas (BITTNER, 2014; MENDEL, 2013). Consequentemente, sua falta ou suplementação reflete indiretamente sobre os produtos do metabolismo do N (MARSCHNER, 2012).

Normalmente, a aplicação de Mo tem como principais objetivos estimular a fixação biológica de nitrogênio e a redução do nitrato (CALONEGO et al., 2010; CRUSCIOL et al., 2019; MERCANTE et al., 2011). Todavia, pesquisas recentes demonstraram o efeito direto do Mo sobre a fotossíntese devido a sua participação na biossíntese de clorofila e na manutenção da estabilidade do aparelho

fotossintético (IMRAN et al., 2019; YU; HU; WANG, 2006). Além disso, foi relatado que a melhoria da fotossíntese mediante a suplementação de Mo aumenta a eficiência do uso da água, conduzindo à maior tolerância a estresses abióticos (WU et al., 2020). Estes resultados, porém, foram obtidos por meio de experimentos sob condições controladas, não sendo possível estabelecer os seus reais impactos sobre a fisiologia e produtividade das culturas em condições de campo. Apesar disso, tais informações permitem criar a hipótese de que o Mo pode atuar como um estimulante do metabolismo do N e do carbono, conduzindo a incrementos na fotossíntese e na produtividade das culturas. Diante disso, objetivamos avaliar o efeito da aplicação foliar de Mo sobre fisiologia e produtividade das culturas de soja e milho em sucessão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O molibdênio no solo e na planta

O molibdênio (Mo) é um elemento traço encontrado nos solos em concentrações que podem variar entre 0,2 a 36 mg kg⁻¹ e é requerido para o desenvolvimento de vários organismos, incluindo plantas e animais (KAISER et al., 2005; MARSCHNER, 2012). Em solos cujo pH está acima de 4,3, o Mo ocorre principalmente na forma de molibdato oxiânion: MoO₄²⁻, numa forma altamente oxidada (Mo(VI)). A disponibilidade de Mo para as plantas tende a aumentar conforme eleva-se o pH do solo, sendo favorecida a partir do pH 5,5. Contudo, em solos cujo pH está abaixo de 4,3, começam a prevalecer espécies protonadas (HMoO₄⁻, MoO₃(H₂O)₃) (MARSCHNER, 2012). Nestas condições, a disponibilidade do Mo para as plantas é fortemente afetada, pois há também o aumento da concentração de elementos adsorventes como óxidos de Fe e Al (KAISER et al., 2005; RUTKOWSKA et al., 2017).

O molibdato absorvido pelas plantas permanece inativo até ser incorporado a uma pterina orgânica formando o cofator molibdênio (Moco). Uma vez incorporado, o Moco passa a exercer a função de sítio ativo em metaloenzimas, no qual através dos seus diversos estados de oxidação possibilita a transferência de elétrons em reações de oxidorredução (HILLE, 2013).

São conhecidas quatro molibdoenzimas que participam diretamente no metabolismo das plantas: xantina desidrogenase, nitrato redutase, sulfito oxidase e aldeído oxidase (BITTNER et al., 2014). As duas primeiras estão envolvidas no transporte de N e redução de nitrato, respectivamente. As demais atuam na desintoxicação por sulfito e na síntese de hormônios, respectivamente (BITTNER, 2014; LI et al., 2018; MASSENA et al., 2006; SHOAIB RANA et al., 2020). Destas enzimas, a nitrato redutase (NR) é a mais estudada pois atua diretamente na assimilação do nitrato, convertendo-o em nitrito, que por sua vez será reduzido a amônio e incorporado ao primeiro aminoácido a ser formado, a glutamina, através de uma série de reações catalíticas (HELDT; PIECHULLA, 2011). Por ser a primeira etapa da assimilação do nitrogênio na planta, a redução do nitrato assume

uma função crucial no metabolismo vegetal, de modo que o funcionamento inadequado da NR pode resultar em acúmulo de nitrato nos vacúolos, prejudicando a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas, a absorção de micronutrientes como Fe, Zn e Cu, e à alimentação humana e animal quando acumulado em teores elevados nos órgãos vegetais comestíveis (DREWNOSKI et al., 2019; MBAH; DAKORA, 2018; RENSEIGNÉ; UMAR; IQBAL, 2007).

Devido a participação do molibdênio em enzimas fundamentais para a assimilação do N, os sintomas de deficiência de Mo normalmente são confundidos com a deficiência por N, apresentando crescimento atrofiado e clorose em folhas jovens. Nas dicotiledôneas, há redução do limbo foliar e a formação do sintoma 'chicoteamento', devido a necrose local de tecidos e diferenciação insuficiente dos feixes vasculares nos estágios iniciais de desenvolvimento foliar. Quando os sintomas são mais graves, há clorose marginal e necrose nas folhas maduras devido à alta concentração de nitrato (MARSCHNER, 2012).

Para uma considerável quantidade de culturas, o N é o nutriente de maior exigência. Este elemento participa da composição estrutural de diversas moléculas, como proteínas, aminoácidos, enzimas, ácidos nucleicos, ATP, NADPH, NADH e das moléculas de clorofila (HELDT; PIECHULLA, 2011). Grande parte do nitrogênio absorvido é empregado no aparelho fotossintético, especialmente no complexo antena e na enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (NUNES-NESI; FERNIE; STITT, 2010). Em espécies C₃ a Rubisco normalmente corresponde cerca de 30 a 50% da proteína solúvel total (PST) e 10 a 30% de N total na folha, enquanto nas espécies C₄ estes valores podem variar entre 10 a 25% da PST e de 5 a 10% de N total na folha (CARMO-SILVA et al., 2015). Logo, pode-se presumir que a deficiência de Mo na planta poderá exercer um efeito indireto sobre a eficiência fotossintética via metabolismo do nitrogênio.

Além do efeito indireto do Mo sobre a fotossíntese, foi demonstrado que o molibdênio participa diretamente na biossíntese de clorofila (YU; HU; WANG, 2006). Além disso, verificou-se que a deficiência de molibdênio pode gerar alterações anormais na ultraestrutura e configuração do cloroplasto, o que consequentemente reduz a fotossíntese devido ao frágil mecanismo fotossintético

(IMRAN et al., 2019). Foi também sugerido que o Mo contribui para o equilíbrio ou estabilidade da subunidade ferro-enxofre do complexo citocromo *b₆-f* e Rubisco, que estão envolvidos reações fotoquímicas e fixação de CO₂, respectivamente (SUN et al., 2014). Recentemente, observou-se que o Mo atua na manutenção da integridade e da fluidez das membranas do cloroplasto e tilacóide sob déficit hídrico, por meio da transcrição de genes envolvidos na biossíntese e dessaturação de ácidos graxos e glicerolípídeos, resultando na melhoria da fotossíntese, eficiência do uso da água, e, conseqüentemente, na melhoria da tolerância ao déficit hídrico (WU et al., 2020).

Como consequência da melhoria da fotossíntese, alguns trabalhos relatam que o fornecimento de Mo resultou em maior desenvolvimento de raízes, maior acúmulo de açúcar total solúvel, massa seca de plantas, qualidade de sementes e produtividade de grãos (LI et al., 2018; LIU et al., 2017; QIN et al., 2017). Embora estes processos ainda não estejam totalmente compreendidos, estas evidências reforçam que o molibdênio exerce um papel fundamental no funcionamento do maquinário fotossintético e conseqüentemente para a produtividade das culturas (IMRAN et al., 2019).

2.2 Adubação foliar de molibdênio

Algumas estratégias foram estudadas a fim de suprir as deficiências por Mo, dentre elas está a fertilização via solo, tratamento de sementes ou via foliar. A adubação via solo pode ser pouco eficiente devido a sua reatividade no solo (RUTKOWSKA et al., 2017). Além disso, o sulfato presente no solo é um forte competidor pela absorção, tendo em vista que ambos possuem duplas cargas negativas (SO₄²⁻, MoO₄²⁻), similaridade e tamanho da estrutura tetraédrica (FAGAN et al., 2015). O tratamento de sementes, por sua vez, apresenta vantagens como praticidade, economia e uniformidade de aplicação; no entanto, há indícios de que esta prática possa afetar negativamente a sobrevivência de *Bradyrhizobium* e a nodulação em plantas de soja (ALBINO; CAMPO, 2001). Neste sentido, a adubação foliar apresenta vantagens como o fornecimento de nutrientes diretamente ao alvo, aplicação no estágio de desenvolvimento adequado e em quantidades controladas,

evitando assim os efeitos indesejados da aplicação via solo, inclusive diminuindo possíveis impactos ambientais (BINDRABAN et al., 2015; NIU et al., 2021).

A eficiência da aplicação de nutrientes foliares depende, dentre outros fatores, da sua rápida absorção e da sua capacidade de transporte para outros tecidos da planta (BUKOVAC; WITTWER, 1957). A capacidade de redistribuição do nutriente permite avaliar o impacto nutricional em tecidos não pulverizados, como raízes, e tecidos que foram formados após a pulverização, como folhas jovens, gemas dormientes e tecidos reprodutivos, bem como os tecidos vasculares de armazenamento (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Os primeiros estudos com molibdênio apontam que a sua absorção ocorre ativamente (FAGAN et al., 2015). Foi relatado que os níveis máximos de molibdênio nas raízes foram atingidos em apenas 6 h após aplicação, indicando que a absorção de molibdato e a detecção de níveis intracelulares são processos bem controlados. Quando aplicado sobre as folhas, o transporte também ocorre para o caule e raízes, demonstrando que o molibdato é altamente móvel nos tecidos vegetais (BITTNER, 2014). Devido a sua mobilidade, o molibdênio pode ser aplicado via adubação foliar, pois sua absorção ocorre rapidamente, sem riscos de perdas comparado a aplicação via solo (MORAES et al., 2008).

2.3 Molibdênio via foliar em soja e milho

O Brasil é o maior produtor de soja e o terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção estimada de 135,8 e 96,4 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2021; USDA, 2021a, 2021b). Apesar destes números expressivos, há uma percepção de que a produtividade destas culturas permaneceu estagnada durante a última década, sendo que atualmente, a produtividade média nacional do milho é de 4,9 Mg ha⁻¹ e da soja de 3,5 Mg ha⁻¹ (BICUDO DA SILVA et al., 2020; CONAB, 2021). Em contrapartida, há uma crescente demanda pela oferta mundial de alimentos, além do desenvolvimento de uma agricultura ainda mais sustentável, o que implica na necessidade de tecnologias que aumentem a produtividade das culturas reduzindo o consumo de recursos naturais (OECD/FAO, 2020; SCHRÖDER et al., 2019).

Neste sentido, a pulverização foliar de molibdênio tem se mostrado como uma importante ferramenta na melhoria do desempenho produtivo das culturas (CALONEGO et al., 2010; CAMPO; HUNGRIA, 2002; CRUSCIOL et al., 2019). Na cultura da soja, são escassos os resultados na literatura referentes a aplicação de Mo via foliar. Em um destes estudos, foi observado aumento da atividade da enzima nitrato redutase com a aplicação foliar comparado a aplicação via tratamento de sementes (TOLEDO et al., 2010). Em uma série de experimentos realizados com soja, verificou-se que a aplicação foliar de Mo nos estágios V₄ e V₅ apresentaram resultados similares aos da aplicação nas sementes, sem reduzir a nodulação (CAMPO; ALBINO; HUNGRIA, 1999). Neste sentido, (MERCANTE et al., 2011) recomendam que a aplicação de Mo na soja seja realizada em pulverização foliar entre os estágios V₃ e V₅ a fim de evitar os possíveis efeitos negativos à FBN.

Os resultados da aplicação foliar de Mo na cultura do milho, por sua vez, são variáveis. (SANTOS et al., 2010) não observaram resposta à aplicação de Mo via foliar. Estes autores atribuíram esta baixa responsividade aos teores de Mo na semente e no solo próximos aos ideais para a cultura do milho; alta adubação fosfatada, que pode ter favorecido o aumento da sua disponibilidade no solo; ou ainda à aplicação tardia. No entanto, observou-se aumento na massa de grãos, peso de espiga e de produtividade de grãos mediante a adubação foliar com Mo (CAIONI et al., 2016). De modo semelhante, a produtividade do milho obteve acréscimo médio de 11 e 43,8% com a aplicação de Mo, nos tratamentos com e sem a aplicação de N em cobertura, respectivamente (VALENTINI; COELHO; FERREIRA, 2005).

O potencial produtivo da cultura do milho é definido logo nos estágios iniciais de desenvolvimento, por volta dos estágios V₄ e V₅, em função da diferenciação floral (HANWAY, 1966), esta é, portanto, uma fase crítica para o desenvolvimento do milho. Neste sentido, recomenda-se que a aplicação de nutrientes ocorra próximo ao estágio V₄, uma vez que a partir desta fase intensifica-se a absorção de nutrientes, inclusive de nitrogênio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Assim, a aplicação de Mo próximo à V₄ pode ser uma estratégia interessante, tendo em vista que a disponibilidade deste nutriente pode aumentar a assimilação de N nos estágios subsequentes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi constituído por duas safras de soja conduzidas no verão de 2018/2019 e 2019/2020, e duas safras de milho conduzidas durante o outono/inverno nos anos de 2019 e 2020. Todas as safras foram cultivadas em sistema de sequeiro. Os experimentos foram conduzidos na fazenda Experimental Lageado da Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada no município de Botucatu, região sudeste do Estado de São Paulo, Brasil (48 ° 26' oeste, 22 ° 51' sul, e altitude de 786 m acima do nível do mar). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), o solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico. A área de condução do experimento permaneceu sob sistema de semeadura direta durante 12 anos. Segundo a classificação de Köeppen, o clima predominante na região é temperado quente (mesotérmico, com chuvas no verão e seca no inverno), do tipo Cwa. A precipitação média anual é de 1360 mm, e a temperatura anual do ar é de 20,7° C (UNICAMP, 2020).

Para a construção do balanço hídrico (Figura 1), foi determinada a capacidade de retenção de água no solo de acordo com os métodos da tabela de tensão e da câmara extratora de Richards (CASSEL; NIELSEN, 2018) objetivando determinar o potencial hídrico do solo (ψ_w). Durante a condução do experimento, foram coletados dados de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar e evapotranspiração, os quais foram coletados em uma estação meteorológica próxima da área experimental. O balanço hídrico climatológico foi calculado de acordo com os métodos propostos por (ROLIM, G., SENTELHAS, P., BARBIERE, 1998) seguindo o procedimento de (THORNTHWAITE; MATHER, 1995).

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras na profundidade de 0,00-0,20 m a fim de determinar as propriedades físicas do solo (DONAGEMMA et al., 2017) e as suas propriedades químicas (RAIJ et al., 2001) cujos resultados são apresentados na tabela 1. Cerca de 60 dias antes do início do experimento, foi realizada uma calagem para elevar a saturação de bases para 70% na camada de 0,00-0,20 m, utilizando calcário agrícola $[\text{CaMg} (\text{CO}_3)_2]$ (280 g kg^{-1} de óxido de

cálcio - CaO, 200 g kg⁻¹ de óxido de magnésio -MgO e 81% de carbonato de cálcio equivalente% E_{CaCO₃}) conforme a metodologia descrita por (QUAGGIO; FURLANI, 1997).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo na camada de 0 - 20 cm da área experimental. Botucatu – SP, 2018

Caracterização física do solo							
Argila		Silte		Areia		Densidade	
..... g kg ⁻¹		 g kg ⁻¹		 g kg ⁻¹		 g cm ⁻³	
602,0		281,0		117,0		1,19	
Caracterização química do solo							
pH (CaCl ₂)	M.O	P (resina)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	Acidez potencial
--	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹			mmol _c kg ⁻¹		
5,4	26,2	29,0	58,0	15,0	2,8	2,0	34,2
S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	CTC _{pH 7,0}
.....			mg kg ⁻¹			(%)	mmol _c kg ⁻¹
4,90	0,4	8,8	22,0	26,2	2,0	62	90

Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ determinados com resina; Al³⁺ determinado com extrator KCl.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram caracterizados pela presença (+Mo) e ausência de Molibdênio (-Mo) em delineamento de blocos casualizados com oito repetições. A pulverização foliar foi realizada no estágio V₄ (CAMPO; ALBINO; HUNGRIA, 1999) de ambas as culturas, por meio da aplicação de 0,20 L de molibdato de potássio (14% de Mo; 12% K₂O) diluído em 180 L ha⁻¹ de água.

As pulverizações foliares foram realizadas com atomizador aerógrafo movido a CO₂, com pressão de trabalho de 1,8 BAR. A barra era composta por seis bicos espaçados de 0,5 m com bicos em leque plano (TTI 110 02 VP), operados a uma altura de 0,5 m do dossel das culturas e velocidade de 1 ms⁻¹.

3.3 Adubação e tratos culturais

3.3.1 Cultura da soja

O cultivar de soja utilizada foi o genótipo TMG 7062 RR; Tropical Breeding & Genetics®. As sementes foram tratadas com os fungicidas carboxin e thiram (1 g

i.a kg^{-1} de sementes, respectivamente) e inoculadas com SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*) e SEMIA 5080 (*Bradyrhizobium diazoefficiens*). Cada parcela foi composta por 10 linhas de 10 m de comprimento e espaçadas de 0,45 m, resultando em uma área de 45 m^2 . Empregou-se uma densidade de semeadura de 14 sementes metro^{-1} , totalizando uma população de ~ 310.000 plantas ha^{-1} . A adubação no momento da semeadura foi realizada com 300 kg ha^{-1} de 00-20-20 (60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O) em ambos os cultivos de soja. O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado conforme recomendações para a cultura.

3.3.2 Cultura do milho

As sementes de milho (híbrido P3707VYH; Pioneer®) foram tratadas com os fungicidas (carboxina + tirame, 1 g i.a. kg^{-1}) antes da semeadura. O espaçamento de plantio foi de 0,45 m entre linhas, contento 10 linhas de 10 m comprimento. A densidade de semeadura do milho foi de 3,1 sementes metro^{-1} com população estimada em ~ 68.888 plantas ha^{-1} . A adubação de base foi realizada com 300 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16 (24 kg ha^{-1} de N, 84 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 48 kg ha^{-1} de K_2O) em ambos os cultivos de milho.

Foi realizada adubação de cobertura de N e K no estágio V₆, com a aplicação de 100 kg N ha^{-1} via sulfato de amônio e $20 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ via cloreto de potássio (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1997) espalhando-os sobre a superfície do solo. O manejo de plantas daninhas, doenças e pragas foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura.

3.4 Avaliações experimentais

3.4.1 Status nutricional das culturas

O status nutricional das plantas de soja foi avaliado mediante a coleta da terceira folha totalmente expandida juntamente com o seu pecíolo de 20 plantas selecionadas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela, no estágio R₂ (AMBROSANO et al., 1997). Em milho, por sua vez, coletou-se o terço médio das folhas abaixo e oposta à espiga de 20 plantas representativas de cada parcela,

durante o estágio R₁ (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1997; RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Para a determinação do teor de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica seguida do método de destilação de Kjeldahl (KIRK, 1950). Para a determinação dos demais macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Mo, Fe, Mn, B, Cu, Zn) as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica e determinação realizada por espectrofotometria de absorção atômica, conforme metodologia descrita por (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.4.2 Parâmetros fotossintéticos

Os parâmetros fotossintéticos foram determinados por meio da avaliação não destrutiva de folhas utilizando o dispositivo portátil de análise de trocas gasosas CIRAS-3; Portable Photosynthesis System (PP Systems Inc., Amesbury, MA, USA). As condições de mensuração do aparelho foram padronizadas em 380-400 mol mol⁻¹ CO₂ atmosférico, 1100 µmol quanta m⁻² s⁻¹ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) fornecida por lâmpadas LED, temperatura da câmara foliar de 25-27 °C e 60 –70% de umidade relativa. O tempo mínimo de equilíbrio para cada conjunto de medições foi de 3 min. As medidas foram realizadas entre 10h00 e 12h00.

Os atributos avaliados foram: taxa fotossintética líquida (*A*; µmol CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*; mol H₂O m⁻² s⁻¹), concentração interna de CO₂ na cavidade subestomática (*C_i*; µmol mol⁻¹), transpiração (*E*; mmol H₂O m m⁻² s⁻¹), eficiência do uso de água (EUA; µmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹) calculada pela razão *A/E*, e a eficiência de carboxilação, obtida pela razão *A/C_i*.

Na soja, a mensuração destes parâmetros foi realizada no estágio fenológico R₄, considerando o folíolo central da terceira folha totalmente expandida do caule principal, tomando-se 10 plantas representativas de cada parcela. No milho, as avaliações ocorreram no estágio fenológico R₁, considerando-se o terço médio da terceira folha abaixo da folha bandeira.

3.4.3 Atividade da Nitrato redutase

A atividade da NR foi realizada em folhas coletadas no estágio de desenvolvimento R₃, para as culturas de soja e milho, e mantidas sob baixas temperaturas seguindo a metodologia de (LONG; OAKS, 1990). As folhas foram maceradas em nitrogênio líquido e a cada 1 g de amostra de folha adicionou-se 2 mL de tampão de extração, composto por Tris-HCl 25 mM (pH 8,5), EDTA 1 M, DTT 1 mM, BSA 1%, FAD 20 µM e leupetina 200 µM. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas (14000 x g; 10 min; 4 °C) e o sobrenadante foi filtrado em 4 camadas de gaze e reservados em tubos sobre gelo. Foram colocadas alíquotas de 200 µM em microtubos contendo tampão de reação para um volume final de 0,5 mL. A solução de tampão era constituída por Hepes-KOH, pH 7,6 (50 mM); MgCl₂ 10 mM, para determinar a forma ativa da enzima (NR ativa), ou EDTA 5 mM, para determinar a forma total da enzima (NR total); FAD 10 µM; Caseína 3%; DTT 1 mM. L. O extrato destinado a determinação da NR total foi incubado previamente por 10 min em 11 µL de solução contendo AMP 250 mM e EDTA 500 mM. Após 5 minutos de incubação adicionou-se 25 µL de NADH 5 mM, diluído em tampão fosfato de potássio (KPO₄ 100 mM) pH 7,0) para iniciar a reação. A incubação ocorreu durante 30 minutos e foi interrompida com a adição de 62,5 µL de acetato de zinco 500 mM. Posteriormente, as soluções foram novamente centrifugadas e o sobrenadante foi levado para determinação colorimétrica do nitrito formado de acordo com metodologia proposta por (HAGEMAN; REED, 1980).

3.4.4 Concentração de Proteína total na folha

A concentração de proteína total na folha foi determinada em folhas coletadas no estágio R₃ de ambas as culturas, e foi mensurada de acordo com o método proposto por (BRADFORD, 1976) e se baseia no efeito hipsocrômico de 465 m para 595 nm, decorrente da ligação seletiva do corante Coomassie® Brilliant Blue G-250 a proteínas, especificamente a aminoácidos básicos e aromáticos (WENRICH; TRUMBO, 2012). O teor de proteína total foi obtido através de uma curva padrão elaborada a partir de albumina de soro bovino e, e os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de matéria fresca.

3.4.5 Concentração total de açúcar solúvel

A concentração total de açúcar solúvel nas folhas foi determinada no estágio R₃, por meio do método fenol sulfúrico, e se baseia na desidratação de açúcares simples pelo ácido sulfúrico e subsequente complexação dos produtos formados com o fenol. A mudança de cor da solução é medida na região visível e é proporcional ao conteúdo de açúcares totais na amostra (DUBOIS et al., 1956). Desta forma, foi adicionado 20 µL do sobrenadante a 0,5 mL de fenol a 5% e 2 mL de ácido sulfúrico. As concentrações foram determinadas com base na curva padrão de sacarose e resultados expressos em g kg⁻¹.

3.4.6 Enzimas fotossintéticas

A atividade da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) foi mensurada em folhas de milho (R₃) por meio do método enzimático acoplado à oxidação de NADH e foi determinada por espectrofotômetro a 340 nm (DEGL'INNOCENTI; GUIDI; SOLDATINI, 2002). A atividade enzimática foi mensurada a partir do registo da absorbância diminuída em 340 nm durante 300 s, e os resultados foram expressos em µmol min⁻¹ mg de proteína⁻¹.

A atividade da Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) foi determinada nas culturas de soja e milho (R₃) seguindo a mesma metodologia utilizada para a PEPcase e foi mensurada através de espectrofotometria a partir da taxa de oxidação do NADH a 340 nm (REID et al., 1997). A atividade da Rubisco foi calculada a partir da diferença nas leituras de absorbância em 0 e 1 min e expressa em µmol min⁻¹ mg de proteína⁻¹.

3.4.7 Parâmetros agrônômicos e rendimento de grãos

Por ocasião da maturação fisiológica dos grãos de soja e milho, foram colhidas manualmente as plantas de uma área de 15m² dentro de cada parcela, de onde foram avaliadas as variáveis: número de vagens por planta (em soja), prolificidade (milho), número de grãos por planta, massa de 100 grãos (M100G), expresso em

g; e rendimento de grãos, com resultados expressos em Mg ha^{-1} , com umidade corrigida para 13% de umidade. O teor de umidade foi determinado por meio do medidor automático de umidade (Gehaka G650i, Brasil).

3.4.8 Análise estatística

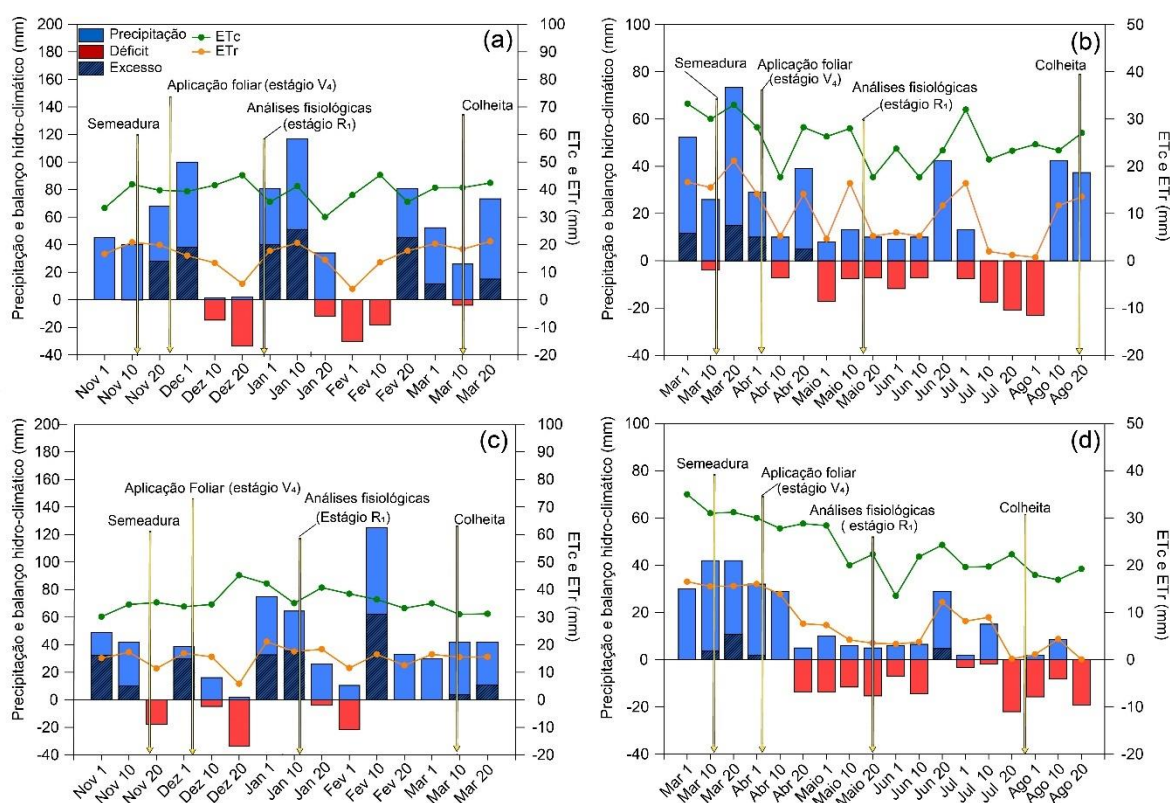
Os dados foram previamente testados pelo método de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) para avaliar a normalidade e pelo teste de Levene para homocedasticidade (LEVENE, 1960), ambos com $p < 0,10$. O fator adubação foliar foi considerado efeito fixo e o fator de anos foram considerados efeitos aleatórios. Posteriormente, as médias foram submetidas à análise de variância unilateral (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,10$).

4 RESULTADOS

4.1 Condições climáticas

A precipitação total acumulada durante a safra de soja 2018/19 (590 mm) foi consideravelmente maior em relação à safra 2019/20 (434 mm) (Fig. 1a e c). Esta, porém, obteve melhor distribuição de chuvas em relação à primeira, no qual foi marcada por dois eventos de déficit hídrico. O primeiro ocorreu no final do estágio vegetativo (entre os estágios V₅ e V₈) e início do estágio reprodutivo (R₁), enquanto o segundo ocorreu no pleno florescimento (R₂). Na segunda safra também houve períodos de déficit hídrico, os quais ocorreram no início do estágio vegetativo, em R₂ e no final de R₄. Estes eventos, porém, foram menos intensos em relação à primeira safra.

Figura 1 - Balanço hídrico climatológico referente às safras de soja (a, 2018/19; c, 2019/20) e milho (b, 2019; d, 2020) cultivadas em Botucatu, SP, Brasil. ETc: evapotranspiração da cultura; ETr: evapotranspiração real. As setas indicam o momento das pulverizações e das amostragens



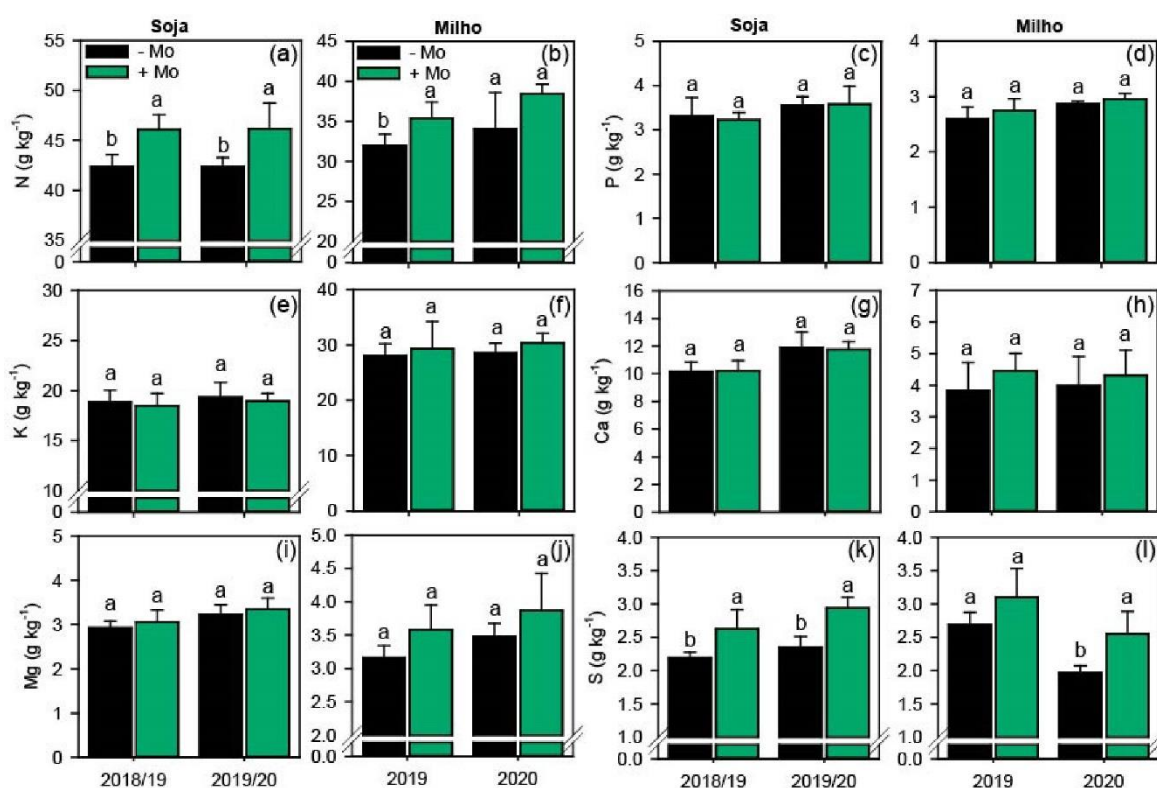
Houve redução expressiva no volume de chuvas em ambas as safras de milho, cujas precipitações foram de 319 e 293 mm, nas safras de 2019 e 2020,

respectivamente (Fig. 1b e d). Estes baixos volumes resultaram em longos períodos de déficit hídrico que perduraram por quase todo ciclo da cultura, sendo maiores e mais intensos no segundo cultivo.

4.2 Status nutricional

Os teores de N nas folhas foram melhorados pela adubação foliar com Mo em ambas as culturas, obtendo acréscimos de 8 e 10% nas culturas da soja e milho, respectivamente (Fig. 2. a e b). Os teores de S também foram melhorados em ambas as safras de soja e no segundo ano de milho pela aplicação foliar com Mo (Fig. 2 k e i). Os incrementos nos teores de S nas folhas de soja correspondem a 16 e 20% na primeira e segunda safra, respectivamente, enquanto o incremento de S nas folhas de milho na safra de 2020 foi de 23%. Os demais macronutrientes não sofreram alteração com o manejo nutricional ($P < 0,10$).

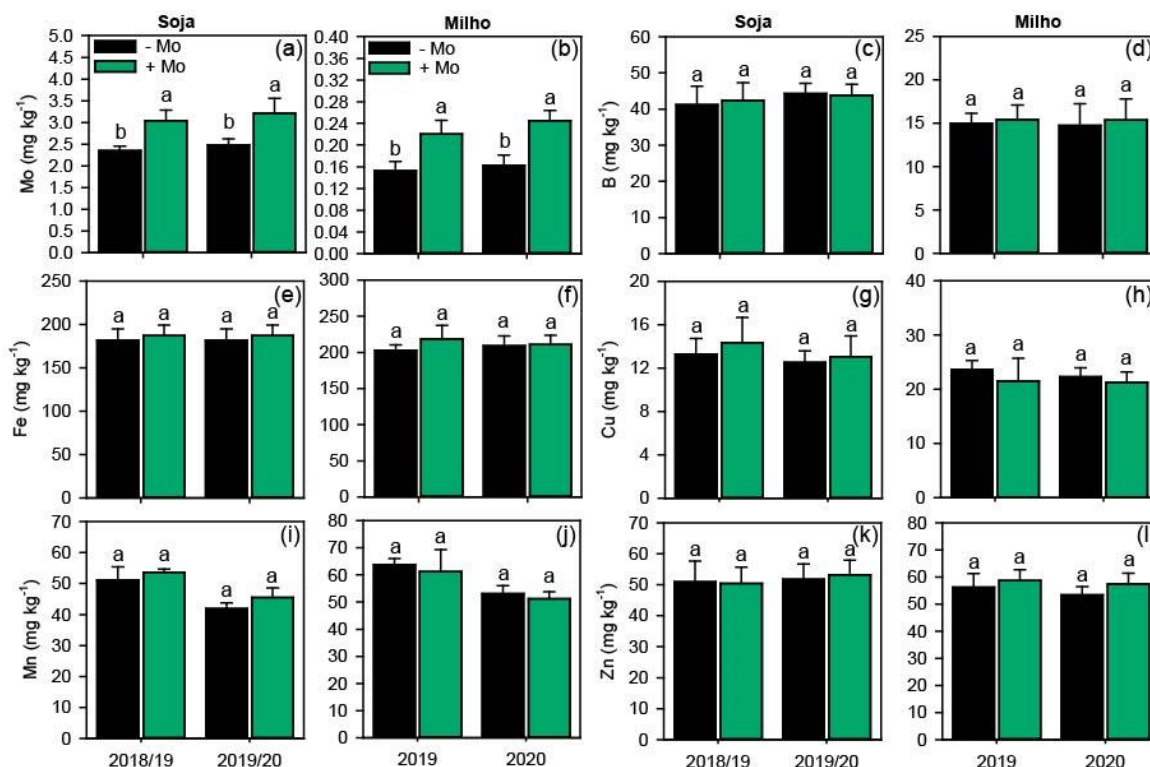
Figura 2 - Teores de macronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. N (a, b), P (c, d), K (e, f), Ca (g, h), Mg (i, j), e S (k, l)



A pulverização foliar aumentou os teores de Mo nas folhas de soja e milho em ambas as safras (Fig. 3). Os acréscimos corresponderam a 22% e 23% para a soja e 32 e 34% para o milho, na primeira e segunda safra, respectivamente (Fig. 3 a,

b). Os demais micronutrientes não foram afetados pela pulverização foliar de Mo ($P < 0,10$).

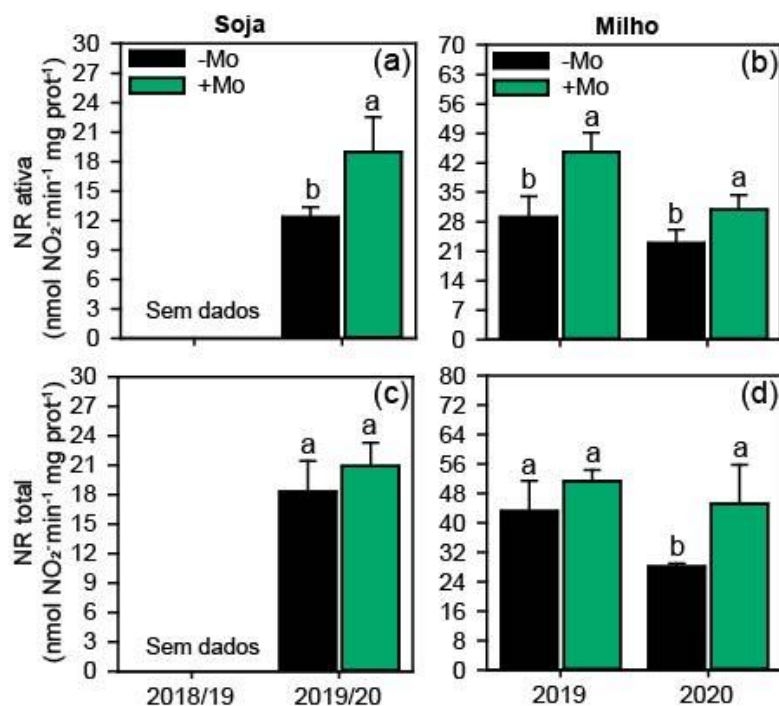
Figura 3 - Teores de micronutrientes nas folhas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar. Mo (a, b); B (c, d); Fe (e, f); Cu (g, h); Mn (i, j); Zn (k, l)



4.3 Atividade da Nitrato redutase

Em comparação com o controle, a fertilização foliar com Mo impactou a NR total apenas na segunda safra de milho, com um aumento de 38% (Figura 4C, D). Em contraste, a aplicação de Mo aumentou a atividade do NR ativa em 35% na segunda safra de soja e em 35 e 25% na primeira e segunda safras de milho, respectivamente, em comparação com o controle (Figura 4A, B).

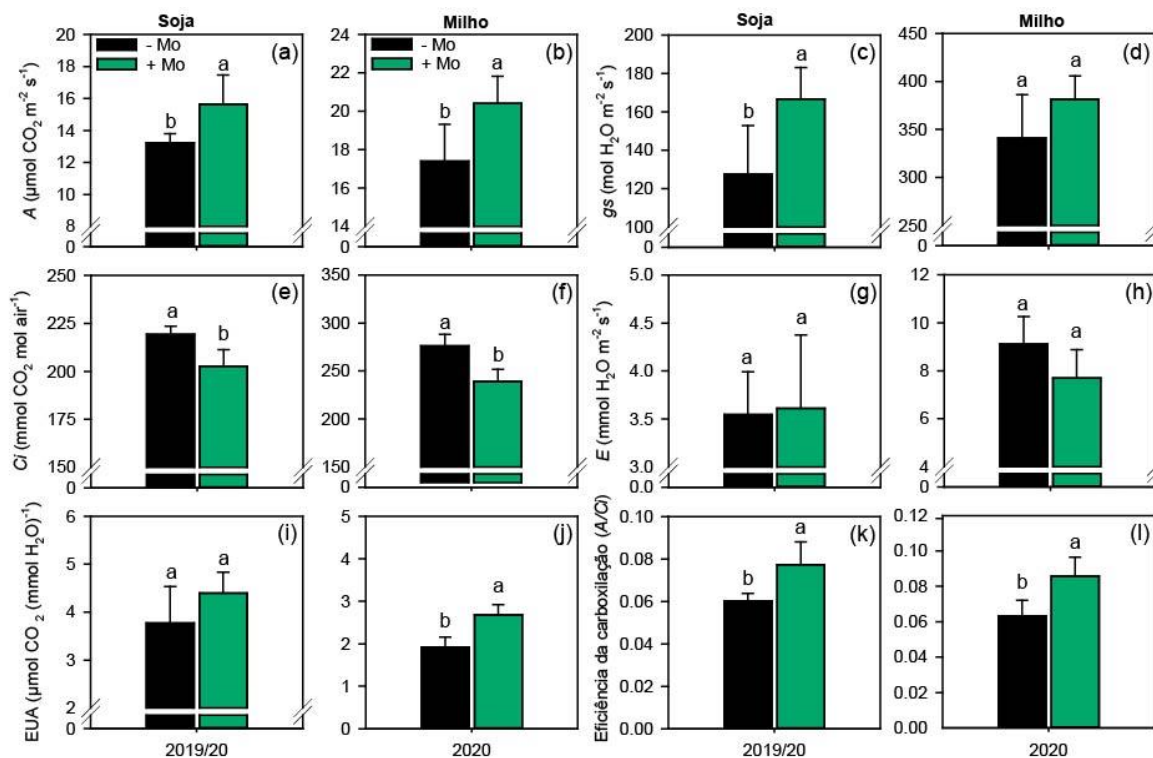
Figura 4 - Atividade da NR ativa (a, b) e NR total (c, d) em folhas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência de Mo aplicado via foliar



4.4 Parâmetros fotossintéticos e assimilação do carbono

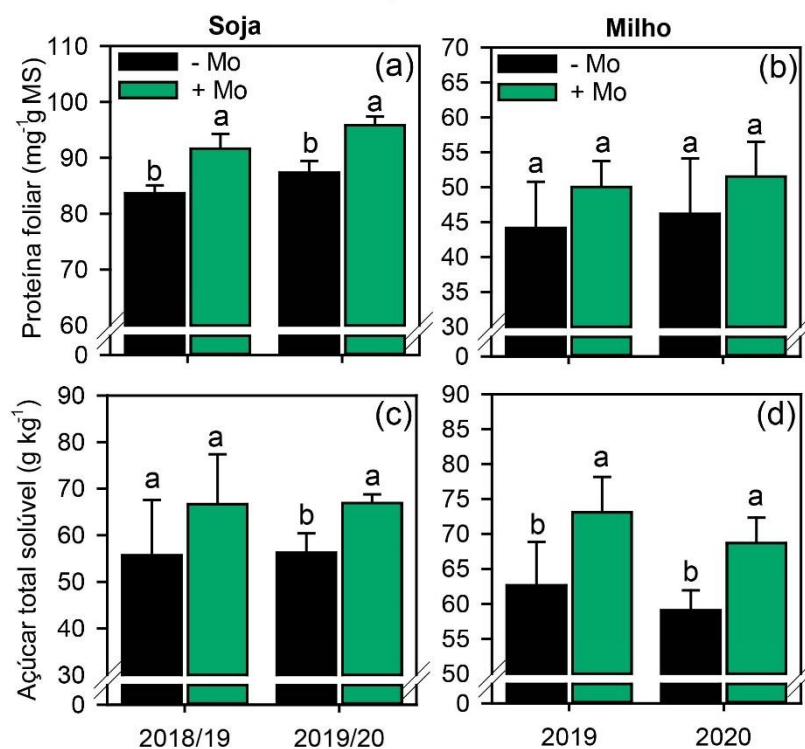
Nosso trabalho demonstrou que a aplicação de Mo nas folhas contribuiu para a melhoria da atividade fotossintética em relação ao controle, com aumentos na fotossíntese líquida (A) de 15% e 14% para soja e milho, respectivamente (Figura 5a, b). A condutância estomática (g_s), porém, aumentou apenas para soja, com incremento de 23% (Fig. c). Em contrapartida, houve redução da concentração interna de CO₂ (C_i) de 8 e 13% (Fig. 5 e, f), culminando no aumento da eficiência fotossintética (A/C_i) em 21 e 26% (Fig. 5 k, l), nas culturas de soja e milho, respectivamente. A pulverização foliar de Mo também contribuiu para a melhoria da eficiência do uso da água (EUA) em 28% para o milho (Fig. 5 i, j).

Figura 5 - Fotossíntese líquida, A (a, b); condutância estomática, g_s (c, d); concentração de CO_2 na câmara subestomática, C_i (e, f); transpiração foliar, E (g, h); eficiência do uso da água, EUA (i, j); e eficiência da carboxilação, A/C_i (k, l) de plantas de soja e milho sob influência da presença e ausência de Mo aplicado via foliar



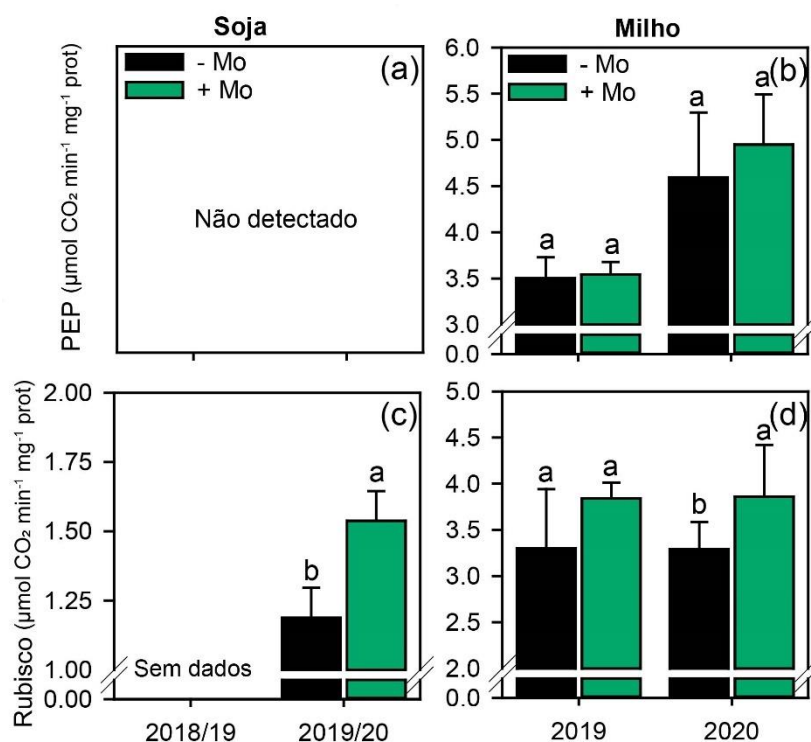
O conteúdo de proteína nas folhas aumentou 9% em ambas as safras de soja com o tratamento +Mo (Fig. 6. a). Em milho, porém, não houve resposta significativa ($P < 0,10$) (Fig. 6. b). Nesta perspectiva, o teor de açúcar total solúvel também foi melhorado com o tratamento +Mo nas culturas de soja e milho, com incrementos de 16% na segunda safra de soja e 14% em ambas as safras de milho (Fig. 6, c e d).

Figura 6 - Concentração de proteína foliar e açúcar total nas folhas de soja (a) e milho (b) sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo



A atividade da enzima PEP carboxilase na cultura do milho não foi alterada pela aplicação de Mo (Fig. 7. b). Porém, a atividade da enzima Rubisco aumentou na segunda safra de soja e de milho em 8 e 14%, respectivamente (Fig. 7. c, d).

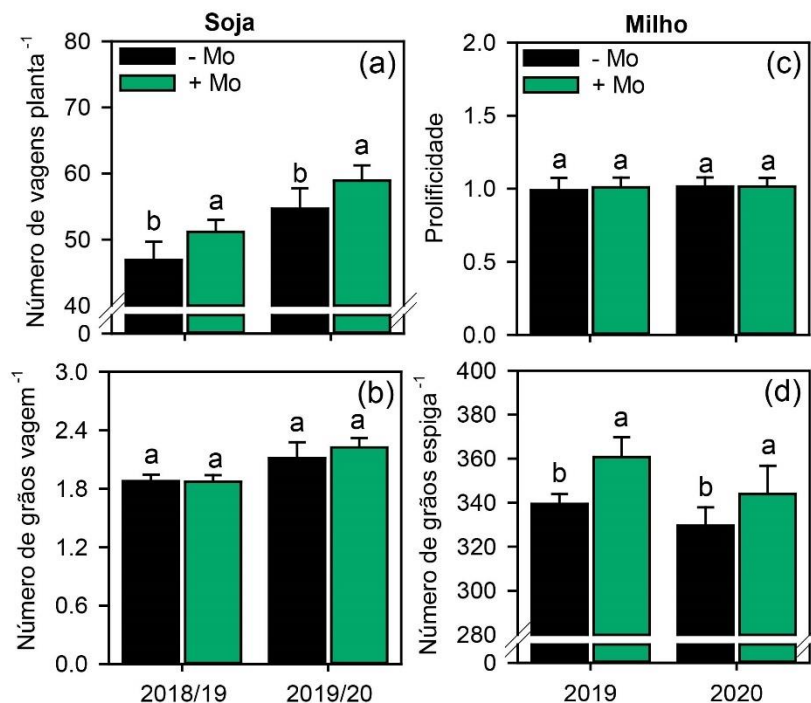
Figura 7 - Atividade das enzimas PEP Carboxilase (a, b) e Rubisco (c, d) de plantas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo



4.5 Componentes de produção e produtividade

De modo geral, a pulverização com Mo aumentou os componentes de produção de soja e milho. O número de vagens planta⁻¹ aumentou 9,6 e 7,2%, na primeira e segunda safra, respectivamente (Fig. 8. a). Em contrapartida, a prolificidade de plantas de milho não foi alterada ($P < 0,10$) (Fig. 8. b).

Figura 8 - Componentes de produção: Número de vagens por planta (a), número de grãos por vagem (b) em plantas de soja e prolificidade (c), número de grãos por espiga (d) em plantas de soja e milho efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo



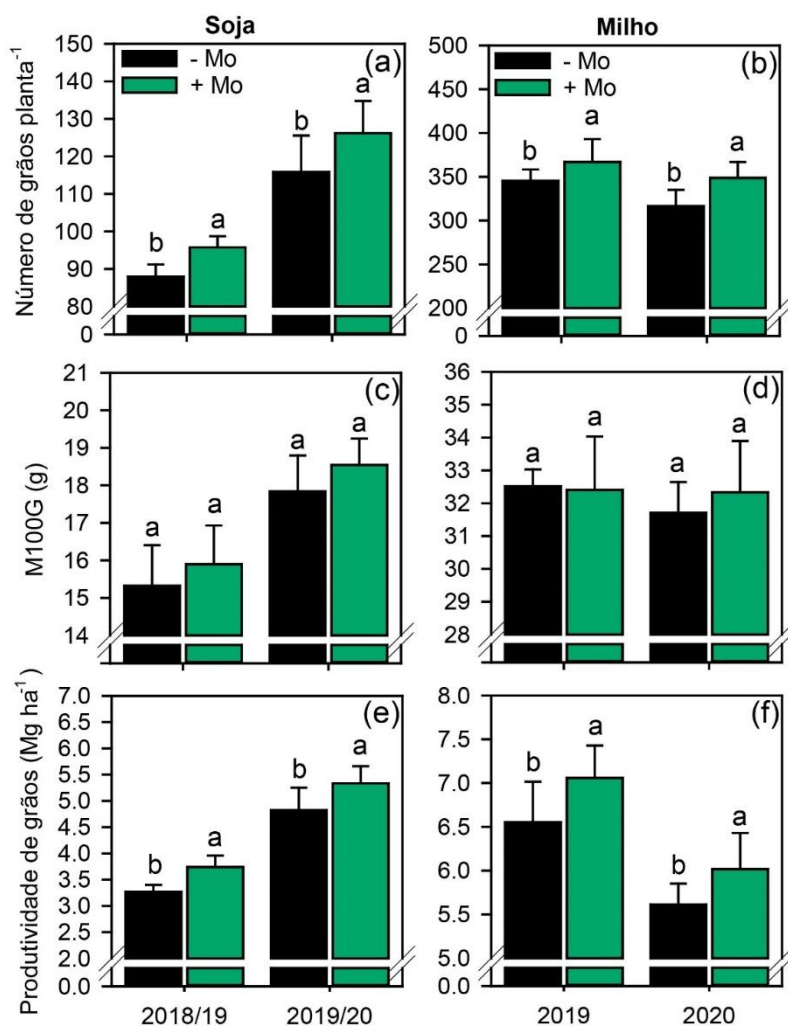
Não houve diferença do número de grãos vagem⁻¹ em plantas de soja (Fig. 8. b), ao passo que o número de grãos por espiga de milho aumentou em ~ 6% em ambas as safras (Fig. 8. d). Estas alterações levaram ao aumento do número de grãos planta⁻¹ de soja e milho, cujos acréscimos foram de 5,9 e 8,5% na primeira e segunda safra de milho, enquanto em soja foram de 8,1 e 12,2% (Fig. 9 a, b). A massa de cem grãos, porém, não foi alterada pelo manejo nutricional ($P < 0,10$) (Fig. 9 c, d).

Por fim, a produtividade de grãos foi melhorada em ambas as culturas e safras mediante a pulverização com Mo (Fig. 9. e, f). Na primeira safra de soja, as produtividades variaram entre 3,27 e 3,74 Mg ha⁻¹ para o tratamento controle e aplicação de Mo, respectivamente. No segundo ano, o tratamento controle obteve uma produtividade de 4,82 Mg ha⁻¹ enquanto o tratamento +Mo obteve 5,35 Mg ha⁻¹, correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 10%.

Considerando a cultura do milho, a produtividade do tratamento controle foi de 6,55 Mg ha⁻¹ ao passo que o tratamento +Mo produziu 7,06 Mg ha⁻¹, correspondendo a um acréscimo de 7,2%. Na segunda safra de milho, as

produtividades foram 5,61 e 6,14 Mg ha⁻¹ referentes aos tratamentos controle e +Mo, respectivamente. Estes resultados correspondem a um aumento na produtividade de ~ 8,6%. Em média, a produtividade da soja e milho aumentaram em 500 e 520 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 9 - Componentes de produção: Número de grãos por planta (a, b), massa de cem grãos (c, d) e produtividade de grãos (e, f) em plantas de soja e milho sob efeito da presença ou ausência da aplicação foliar de Mo



5 DISCUSSÃO

O molibdênio atua em diversos processos no metabolismo vegetal, sendo bastante discutido, principalmente, o seu papel sobre a fixação biológica de nitrogênio e redução do nitrato (CALONEGO et al., 2010; CRUSCIOL et al., 2019; STEINER; ZOZ, 2015). Novas descobertas, porém, enfatizam seu efeito direto sobre a fotossíntese através de vias metabólicas ainda não totalmente compreendidas (IMRAN et al., 2019; SHOAIB RANA et al., 2020; YU; HU; WANG, 2006). Contudo, a maioria destes trabalhos foram desenvolvidos sob condições controladas, não sendo possível dimensionar a sua efetividade em condições de campo. Além disso, poucos estudos demonstram a eficiência da adubação via foliar de Mo no sistema de sucessão soja-milho. Este trabalho demonstra como a aplicação foliar de Mo pode modular a atividade da NR e das enzimas envolvidas na fotossíntese de soja e milho, culminando em aumento de produtividade.

De modo geral, a aplicação foliar de Mo contribuiu para a melhoria da fisiologia e da produtividade das culturas estudadas. A concentração de N nas folhas foi significativamente aumentada em ambas as culturas e safras. Esta resposta é esperada, uma vez que o Mo participa diretamente no metabolismo do N, atuando em enzimas importantes como a nitrogenase, xantina desidrogenase e redutase do nitrato (NR), as quais estão envolvidas na absorção de N, transporte e conversão do NO_3^- a NO_2^- , respectivamente (BITTNER, 2014).

De fato, nossos resultados demonstram aumento da concentração de NR, principalmente na sua forma ativa, indicando que a aplicação localizada de Mo nas folhas foi eficaz para a síntese e ativação da NR, culminando em maior assimilação de N pelas culturas. A ausência de suplementação foliar de Mo favorece o acúmulo de nitrato nas folhas evidenciando a baixa eficiência na assimilação do nitrato sob baixa concentração deste micronutriente (CALONEGO et al., 2010). Nas folhas a ativação da NR é dependente da fotossíntese, sendo inativada quando a intensidade luminosa é reduzida ou há baixa concentração de CO_2 nas folhas (KAISER; SPILL, 1991; PROVAN; LILLO, 1999), desta forma, o aumento da fotossíntese pode também contribuir para o aumento da concentração de NR ativa.

O teor de enxofre também foi melhorado com a aplicação de Mo. Este incremento pode ser explicado pelo maior aporte de N promovido pela suplementação de Mo. O nitrogênio interage com o enxofre de tal forma que a inadequação de um elemento reduz a absorção e assimilação do outro. Foi verificado que a absorção e assimilação de S depende do suprimento constante do precursor da cisteína, a O-acetilserina, que por sua vez é dependente do suprimento adequado de N (ABDIN et al., 2003).

Os incrementos nos teores de Mo nas folhas de soja e milho indicam a eficiência da absorção deste nutriente pelas folhas, aumentando assim o status nutricional da planta. As folhas são capazes de absorver rapidamente o Mo aplicado via pulverização foliar e este pode ser translocado para os demais órgãos através do floema, chegando aos nódulos de plantas de soja, por exemplo, em apenas cinco dias após aplicação (CAMPO; HUNGRIA, 2002; STEINER; ZOZ, 2015).

A faixa de suficiência de Mo para acultura da soja está entre 1 e 5 mg kg⁻¹ e para o milho entre 0,1 e 1 mg kg⁻¹ (NOVAIS et al., 2007; WALSH; BEATON, 1975). Nossos resultados indicaram que ambas as culturas já se encontravam dentro da faixa de suficiência, no entanto, a suplementação com Mo promoveu a melhoria da atividade fotossintética através de incrementos na fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*) e redução do *Ci*. A obtenção destes resultados, ainda que em plantas bem nutridas, se enquadra no conceito de adubação foliar estimulante, o qual é realizada em plantas com alto potencial produtivo e corrigidas nutricionalmente, que ao receber a aplicação de um determinado nutriente potencializa o metabolismo vegetal (ROSOLEM, 2002). Desta forma, a aplicação foliar de Mo pode ter maximizado os processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese que, em última instância, conduzem a produção de grãos.

Frequentemente, *gs* é utilizado para mensurar a capacidade de abertura e fechamento estomático das plantas mediante estímulos ambientais, enquanto que o *Ci* e *A* são utilizados para mensurar a eficiência da fixação de carbono pelas plantas (FARQUHAR; SHARKEY, 1982). Os estômatos são responsáveis pela troca de carbono e água entre o interior da folha e a atmosfera, processos estes, fundamentais à fotossíntese (GAGO et al., 2016). Assim, quanto maior *gs*, maior a

difusão de CO₂ para o interior da folha, e isto, associado a baixos valores de C_i , indica que as células do mesófilo foram capazes de assimilar o CO₂ retido na câmara subestomática através da fotossíntese (LAWSON; BLATT, 2014).

O aumento da atividade fotossintética mediada pela suplementação de Mo pode ser resultado de dois efeitos principais: participação indireta do Mo no aporte de N nas folhas, o qual participa nos processos de síntese de proteínas como a Rubisco; e pela participação direta através da biossíntese de clorofila e estabilidade do aparelho fotossintético (CARMO-SILVA et al., 2015; IMRAN et al., 2019; STEINER; ZOZ, 2015; YU; HU; WANG, 2006). Diversos trabalhos confirmam a melhoria do conteúdo de clorofila mediante aplicação de Mo (BAMBARA; NDAKIDEMI, 2009; IMRAN et al., 2020; LI et al., 2018; LIU et al., 2020; WU et al., 2017). Adicionalmente, tem sido relatado que a adição de Mo aumentou o número de cloroplastos e melhorou a estabilidade da parede celular e membrana plasmática dos tilacóides (WENG et al., 2009). O Mo pode também estar envolvido na estabilidade do citocromo b6-f (SUN et al., 2014) bem como na melhoria da ultraestrutura dos cloroplastos (IMRAN et al., 2019).

A melhoria da atividade fotossintética foi acompanhada pelo aumento da eficiência do uso da água. Este aumento pode ser atribuído à melhoria da fotossíntese líquida, considerando que a EUA é dada, em nível de folha, pela razão entre fotossíntese líquida e a transpiração (A/E), ou seja, a planta aumentou a fixação de carbono com o mesmo consumo de água, tendo em vista que os resultados de E não se alteraram (Fig. 4g e h).

Durante a condução deste estudo, ocorreram períodos consideráveis de seca principalmente no segundo cultivo de milho (Fig. 1). O aumento substancial da eficiência no uso da água (EUA) com a presença de Mo em relação ao controle, indica que este elemento pode ter efeito estimulante à tolerância ao déficit hídrico, garantindo a produção agrícola, mesmo sob restrição hídrica. A EUA é um atributo importante do ponto de vista de uma agricultura sustentável, principalmente diante das previsões que sugerem episódios mais frequentes de anomalias climáticas, como secas e ondas de calor (BHATTACHARYA, 2019).

Os acréscimos nos teores de proteína em folhas de soja podem ser resultado do aumento do conteúdo de N, S e da atividade fotossintética. Além disso, o aumento do teor de N é um grande indicativo de que a absorção e translocação de N foi melhorada pela aplicação de Mo. O N, por sua vez, é essencialmente um componente estrutural de proteínas, tendo em vista que o N corresponde entre 16 e 23% do teor das proteínas vegetais (YEOH; WEE, 1994). Nas folhas, a proteína mais abundante é a enzima Rubisco, podendo chegar a 50% da proteína total solúvel (CARMO-SILVA et al., 2015). Logo, o aumento do teor de proteínas, pode indicar aumento no conteúdo da enzima Rubisco. Esta hipótese é confirmada por (MAEKAWA; KOKUBUN, 2005), no qual observaram correlação positiva entre o conteúdo de Rubisco em folhas de soja e doses crescentes de N. Enquanto o aumento do teor de proteína foliar pode indicar aumento da fotossíntese, através do incremento de Rubisco; a melhoria da fotossíntese estimula a ativação da NR favorecendo a assimilação de N e o início da tradução de proteínas (KAISER; SPILL, 1991; TCHERKEZ et al., 2020), criando assim, um efeito de *feedback*.

O tratamento +Mo não alterou a atividade da enzima PEPcase em folhas de milho, no entanto, a atividade da enzima Rubisco foi promovida em ambas as culturas com a suplementação deste micronutriente. Foi relatado que a adubação com Mo promoveu a estabilidade da Rubisco sob condição de estresse abiótico (SUN et al., 2014). Este fato, aliado ao aumento do teor de proteína, promovido pelo tratamento +Mo, pode explicar a melhoria da atividade desta enzima mesmo sob estresse hídrico.

O aumento na atividade da enzima Rubisco, por sua vez, culminou em incrementos no teor de açúcar total solúvel. A melhoria desta característica é reflexo da melhoria da eficiência fotossintética (STEIN; GRANOT, 2019). Mediante tais resultados, pode-se argumentar que o Mo aumentou o açúcar total solúvel por meio da regulação da fotossíntese.

Os altos teores de açúcares solúveis nas folhas promovidos pela adubação molíbdica, podem ter sido transportados via floema da fonte para os drenos, resultando no aumento da produtividade de grãos. As culturas de soja e milho diferiram quanto a alocação dos carboidratos, tendo em vista que a soja investiu no

aumento do número de vagens por planta, enquanto em milho, a prolificidade não se alterou. Por outro lado, o número de grãos por espiga aumentou, ao contrário da soja, que não obteve ganhos em número de grãos por vagem. De qualquer modo, o número de grãos de ambas as culturas aumentou, culminando em incremento na produtividade de grãos de aproximadamente 500 kg ha⁻¹, em ambas as culturas.

Em vários trabalhos com adubação molíbdica, o aumento da produtividade de grãos é atribuído à melhoria da FBN e da redutase do nitrato (CALONEGO et al., 2010; CAMPO; ALBINO; HUNGRIA, 1999; CRUSCIOL et al., 2019; MERCANTE et al., 2011; STEINER; ZOZ, 2015). Neste trabalho, demonstrou-se que a suplementação com Mo melhora a produtividade não somente pelo aumento na absorção e assimilação de N, mas também através da alteração dos atributos fotossintéticos, que podem modular, inclusive, a resposta das plantas mediante às condições de escassez hídrica ocorrida nas duas safras de cultivo, especialmente para o milho. Esta resposta é um forte indicativo de que o molibdênio aplicado via foliar pode ser uma importante estratégia, não somente para fins de correção nutricional, mas também como um estimulante do metabolismo do carbono.

No milho, por exemplo, a ocorrência de estresse hídrico durante o florescimento e a emissão dos estilos-estigmas podem ocasionar uma grande redução do número e produtividade de grãos (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). De fato, a adubação molíbdica aumentou o número de grãos e a produtividade de milho, além da eficiência do uso da água, mesmo com a ocorrência de estresse hídrico durante o estágio reprodutivo em ambas as safras. Apesar destes dados representarem grande avanço para o entendimento do papel do Mo quanto ao seu efeito nutricional e parte do seu efeito estimulante, ainda existem muitas lacunas, principalmente quanto ao seu papel antiestresse. Sabe-se que o Mo atua na síntese de ácido abscísico (ABA), hormônio responsável pelo controle estomático em situações de estresse, e pode estar envolvido na modulação de enzimas antioxidantes (WATANABE et al., 2018); no entanto, seus efeitos não foram testados em condições de campo, o que pode ser explorado em novos estudos visando confirmar a função do Mo no enfrentamento das culturas às adversidades climáticas.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou que a fertilização foliar de Mo foi capaz de melhorar a fisiologia e a produtividade das culturas de soja e milho. Isto foi possível devido a melhoria da atividade da NR, que por sua vez, promoveu o aumento dos teores foliares de N e a síntese de proteínas. Além disso, houve melhoria dos parâmetros fotossintéticos, indicando que a adubação foliar de Mo é uma estratégia viável não somente para a melhoria do status nutricional da planta, mas também uma técnica estimulante do metabolismo do carbono.

REFERÊNCIAS

- ABDIN, M. Z. et al. Sulphur Interaction with Other Nutrients BT - Sulphur in Plants. In: ABROL, Y. P.; AHMAD, A. (Eds.). . Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. p. 359–374.
- ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 527–534, 2001.
- ALEXANDER, A. **Foliar Fertilization**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1986.
- AMBROSANO, E. J. et al. Leguminosas e oleaginosas. In: **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Instituto Agrônomo (IAC), 1997. p. 187–203.
- BAMBARA, S.; NDAKIDEMI, P. A. Effects of Rhizobium inoculation, lime and molybdenum on photosynthesis and chlorophyll content of *Phaseolus vulgaris* L. **African Journal of Microbiology Research**, v. 3, n. 11, p. 791–798, 2009.
- BHATTACHARYA, A. Chapter 3 - Water-Use Efficiency Under Changing Climatic Conditions. In: BHATTACHARYA, A. B. T.-C. C. AND R. U. E. IN P. (Ed.). . [s.l.] Academic Press, 2019. p. 111–180.
- BICUDO DA SILVA, R. F. et al. The Soybean Trap: Challenges and Risks for Brazilian Producers. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 12, 2020.
- BINDRABAN, P. S. et al. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 8, p. 897–911, 2015.
- BITTNER, F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. FEB, p. 1–6, 2014.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, p. 248–254, maio 1976.
- BUKOVAC, M. J.; WITTEWER, S. H. Absorption and Mobility of Foliar Applied Nutrients. 123. **Plant Physiology**, v. 32, n. 5, p. 428–435, 1 set. 1957.
- CAIONI, S. et al. Nitrogen and molybdenum for irrigated maize in the brazilian savannah with low altitude. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 418–427, 2016.
- CALONEGO, J. C. et al. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 334–340, 2010.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Na Fixação Biológica Do N 2. **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS**, n. 98, p. 6–9, 2002.

CAMPO, R. JOSÉ; ALBINO, U. B.; HUNGRIA, M. Métodos de Aplicação de Micronutrientes na Nodulação e na Fixação Biológica do N 2 em Soja. n. 19, p. 1–7, 1999.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. **Adubação de cereais**RAIJ, B. van et al., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 1997.

CARMO-SILVA, E. et al. Optimizing Rubisco and its regulation for greater resource use efficiency. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 9, p. 1817–1832, 2015.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods**, v. 9, n. 9, p. 901–926, 2018.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da Safra Brasileira**, v. 7, n. 6, p. 1–89, 2021.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Rhizobial inoculation and molybdenum fertilization in peanut crops grown in a no tillage system after 20 years of pasture. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, p. 1–19, 2019.

DEGL'INNOCENTI, E.; GUIDI, L.; SOLDATINI, G. F. Characterisation of the photosynthetic response of tobacco leaves to ozone: CO₂ assimilation and chlorophyll fluorescence. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, n. 8, p. 845–853, 2002.

DONAGEMMA, G. K. et al. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA. In: TEIXEIRA, P. C. et al. (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2017. p. 95–116.

DREWNOSKI, M. E. et al. Nitrates in Livestock Feeding. **NebGuide**, n. 3, p. 1–6, 2019.

DUBOIS, MICHEL. et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1 mar. 1956. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília/DF: Embrapa Solos, 2018.

FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia vegetal: Metabolismo e nutrição vegetal**. 1. ed. São Paulo: Andrei Editora, 2015. v. 1

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. **Guaíba: Agropecuária**, v. 1, p. 360, 2000.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal Conductance and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, n. 1, p. 317–345, 1982.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: Fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015.

GAGO, J. et al. Relationships of leaf net photosynthesis, stomatal conductance, and mesophyll conductance to primary metabolism: A multispecies meta-analysis approach. **Plant Physiology**, v. 171, n. 1, p. 265–279, 2016.

HAGEMAN, R. H.; REED, A. J. [24] Nitrate reductase from higher plants. **Photosynthesis and Nitrogen Fixation - Part C**, v. 69, n. 1, p. 270–280, 1980.

HANWAY, J. J. How a corn plant develops. Special Report. 38. **Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station Publications**, v. 48, n. Sept, p. 1–18, 1966.

HELDT, H.-W.; PIECHULLA, B. **Plant Biochemistry**. Amsterdã: Academic Press, 2011. v. 4

HILLE, R. The molybdenum oxotransferases and related enzymes. **Dalton Transactions**, v. 42, n. 9, p. 3029–3042, 2013.

HUSSAIN, S. et al. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 43–52, 2021.

IMRAN, M. et al. Molybdenum-induced effects on photosynthetic efficacy of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different nitrogen sources are associated with nitrogen assimilation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, n. May, p. 154–163, 2019.

IMRAN, M. et al. **Molybdenum Supply Alleviates the Cadmium Toxicity in Fragrant Rice by Modulating Oxidative Stress and Antioxidant Gene Expression** *Biomolecules*, 2020.

KAISER, B. N. et al. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, v. 96, n. 5, p. 745–754, 2005.

KAISER, W. M.; SPILL, D. Rapid Modulation of Spinach Leaf Nitrate Reductase by Photosynthesis 1: II. In Vitro Modulation by ATP and AMP. **Plant Physiology**, v. 96, n. 2, p. 368–375, 1 jun. 1991.

KIRK, P. L. Kjeldahl Method for Total Nitrogen. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 2, p. 354–358, 1950.

LAWSON, T.; BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556–1570, 2014.

LEVENE, H. Robust tests for equality of variances,. In: OLKIN, I. et al. (Eds.). . **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. 1. ed. Stanford University Press: [s.n.]. p. 278–292.

LI, Y. et al. Molybdenum Sulfide Induce Growth Enhancement Effect of Rice (*Oryza sativa* L.) through Regulating the Synthesis of Chlorophyll and the Expression of Aquaporin Gene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 16, p. 4013–4021, 2018.

LIU, L. et al. Effects of molybdenum on nutrition, quality, and flavour compounds of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 7, p. 1502–1512, 2017.

LIU, L. et al. Integrated Analysis of Molybdenum Nutrition and Nitrate Metabolism in Strawberry. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1117, 2020.

LONG, D.; OAKS, A. Stabilization of nitrate reductase in maize roots by chymostatin. **Plant physiology**, v. 93 3, p. 846–850, 1990.

MAEKAWA, T.; KOKUBUN, M. Correlation of leaf nitrogen, chlorophyll and rubisco contents with photosynthesis in a supernodulating soybean genotype Sakukei 4. **Plant Production Science**, v. 8, n. 4, p. 419–426, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da Produção de Milho. **Embrapa**, p. 10, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.
MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. AMSTERDAM: Elsevier, 2012.

MASSENA, V. et al. Fixação Biológica de Nitrogênio – Estado da Arte. **Miolo_Biota.pmd**, p. 151–180, 2006.

MBAH, G. C.; DAKORA, F. D. Nitrate inhibition of N₂ fixation and its effect on micronutrient accumulation in shoots of soybean (*Glycine max* L. Merr.), Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Vedo) and Kersting's groundnut (*Macrotyloma geocarpum* Harms.). **Symbiosis**, v. 75, n. 3, p. 205–216, 2018.

MENDEL, R. R. The molybdenum cofactor. **Journal of Biological Chemistry**, v. 288, n. 19, p. 13165–13172, 2013.

MERCANTE, F. M. et al. Estratégias para Aumentar a Eficiência de Inoculantes Microbianos na Cultura da Soja. **Embrapa Agropecuária Oeste - Comunicado Técnico 169**, p. 4, 2011.

MORAES, L. M. DE F. et al. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1496–1502, 2008.

NIU, J. et al. Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 104–118, 2021.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 2007. 1017 p.

NUNES-NESI, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. **Molecular Plant**, v. 3, n. 6, p. 973–996, 2010.

OECD/FAO. **Organization f. Agric. Outlook 2020– 2029**, 2020.

PRIMAVESI, O. Conceito de adubação foliar. **Atualidades Agroveterinárias/Embrapa Pecuária Sudeste.**, n. 37, p. 28–40, 1978.

PROVAN, F.; LILLO, C. Photosynthetic Post-Translational Activation of Nitrate Reductase. **Journal of Plant Physiology**, v. 154, n. 5, p. 605–609, 1999.

QIN, S. et al. Effect of molybdenum levels on photosynthetic characteristics, yield and seed quality of two oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 63, n. 2, p. 137–144, 2017.

QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Correção da acidez do solo. In: VAN RAIJ, B. et al. (Eds.). **Recomendações de Adubação e Calagem Para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 14–19.

RAIJ, B. VAN et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

REID, C. D. et al. Comparison of spectrophotometric and radioisotopic methods for the assay of Rubisco in ozone-treated plants. **Physiologia Plantarum**, v. 101, n. 2, p. 398–404, 1997.

RENSEIGNÉ, N.; UMAR, S.; IQBAL, M. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. **Agronomy for Sustainable Development, Springer**, v. 27, n. 1, p. 45–57, 2007.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops** Ames Iowa State University of Science and Technology. Coop. Ext. Serv. Ames, IA, USA , 1993.

RODRIGUES, V. A. et al. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plants**, v. 10, n. 4, 2021.

ROLIM, G., SENTELHAS, P., BARBIERE, V. Planilhas no ambiente excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Rev. Bras. Agrometeorol**, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1998.

ROSOLEM, C. A. **RECOMENDAÇÃO E APLICAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR** LAVRAS/UFPA/FAEP, , 2002.

RUTKOWSKA, B. et al. Prediction of molybdenum availability to plants in differentiated soil conditions. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 11, p. 491–497, 2017.

SANTOS, M. M. et al. Épocas De Aplicação De Nitrogênio Em Cobertura Na Cultura Do Milho Em Plantio Direto, E Alocação Do Nitrogênio (15N) Na Planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1185–1194, 2010.

SCHRÖDER, P. et al. Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management – A European perspective. **Science of The Total Environment**, v. 678, p. 146–161, 2019.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 20 jun. 1965.

SHOAIB RANA, M. et al. Molybdenum as an Essential Element for Crops: An Overview. p. 18535–18547, 2020.

STEIN, O.; GRANOT, D. An Overview of Sucrose Synthases in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 95, 2019.

STEINER, F.; ZOZ, T. Foliar application of molybdenum improves nitrogen uptake and yield of sunflower. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 17, p. 1923–1928, 2015.

SUN, X. et al. Differential Expression of Proteins in Response to Molybdenum Deficiency in Winter Wheat Leaves Under Low-Temperature Stress. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 32, n. 5, p. 1057–1069, 2014.

TCHERKEZ, G. et al. Protein synthesis increases with photosynthesis via the stimulation of translation initiation. **Plant Science**, v. 291, p. 110352, 2020.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance Climatology. **Laboratory of climatology, New Jersey**, 1995.

TOLEDO, M. Z. et al. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 858–864, 2010.

UNICAMP. **Center of Meteorological and Climatic Research Applied to Agriculture. Botucatu: Municipalities climate of São Paulo State**. Disponível em: <[https://www.cpa.unicamp.br/outras->](https://www.cpa.unicamp.br/outras-). Acesso em 02 março. 2021

USDA. Oilseeds: world markets and trade. **Foreign Agricultural Service**, n. May, p. 1–40, 2021a.

USDA. Grain : World Markets and Trade. **United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service**, v. 22, n. June, p. 1–42, 2021b.

VALENTINI, L.; COELHO, C.; FERREIRA, S. Teor de nitrogênio foliar e produtividade de três cultivares de milho (Zea mays L.) submetidos às adubações nitrogenada e molíbdica. **Revista Ceres**, v. 52, n. 302, p. 130–137, 2005.

WALSH, J. D.; BEATON, L. M. Soil Testing and Plant Analysis. **Soil Science**, n. 6, p. 470, 1975.

WATANABE, S. et al. Arabidopsis molybdenum cofactor sulfurase ABA3 contributes to anthocyanin accumulation and oxidative stress tolerance in ABA-dependent and independent ways. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 16592, 2018.

WENG, B.-Q. et al. Effects of Molybdenum Application on Plant Growth, Molybdoenzyme Activity and Mesophyll Cell Ultrastructure of Round Leaf Cassia in Red Soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 11, 2009.

WENRICH, B. R.; TRUMBO, T. A. Interaction of nucleic acids with Coomassie Blue G-250 in the Bradford assay. **Analytical biochemistry**, v. 428, n. 2, p. 93–95, set. 2012.

WU, S. et al. Nitric Oxide Mediates Molybdenum-Induced Antioxidant Defense in Wheat under Drought Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1085, 2017.

XU, Z. et al. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 246, p. 107661, 2020.

YEOH, H. H.; WEE, Y. C. Leaf protein contents and nitrogen-to-protein conversion factors for 90 plant species. **Food Chemistry**, v. 49, n. 3, p. 245–250, 1994.

YU, M.; HU, C. XIAO; WANG, Y. HUA. Effects of Molybdenum on the Intermediates of Chlorophyll Biosynthesis in Winter Wheat Cultivars Under Low Temperature. **Agricultural Sciences in China**, v. 5, n. 9, p. 670–677, 2006.