



**HELLISMAR WAKSON DA SILVA**

**ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM NÍQUEL  
E MOLIBDÊNIO: PRODUTIVIDADE, QUALIDADE  
FISIOLÓGICA E SANITÁRIA**

**LAVRAS - MG  
2021**

**HELLISMAR WAKSON DA SILVA**

**ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO:  
PRODUTIVIDADE, QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Da Silva, Hellismar Wakson.

Enriquecimento de sementes de soja com níquel e molibdênio:  
produtividade, qualidade fisiológica e sanitária / Hellismar  
Wakson Da Silva. - 2020.

74 p. : il.

Orientador(a): João Almir Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.  
Bibliografia.

1. Glycine max (L) Merrill. 2. Enriquecimento de sementes. 3.  
Micronutrientes. I. Oliveira, João Almir. II. Título.

**HELLISMAR WAKSON DA SILVA**

**ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO:  
PRODUTIVIDADE, QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA**

**ENRICHING SOYBEAN SEEDS WITH NICKEL AND MOLYBDENUM:  
PRODUCTIVITY, PHYSIOLOGICAL AND SANITARY QUALITY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de setembro de 2020.

Dr. Everson Reis Carvalho	UFLA
Dra. Heloisa Oliveira dos Santos	UFLA
Dra. Patrícia de Oliveira Alvim Veiga	IFSUL DE MINAS
Dr. André Delly Veiga	IFSUL DE MINAS
Dr. Robson Mauri	COMPASS MINERALS

Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2021**

*A Deus.  
Ao Divino Pai Eterno,  
pelas bênçãos e graças concedidas durante toda a  
minha vida.  
Ofereço*

*Aos meus pais, Hélio Xavier e Eliane Maria.  
Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, perseverança e saúde para concluir mais esta conquista.

Aos meus pais, Hélio Xavier e Eliane Maria, pelos ensinamentos, amor e compreensão diante das minhas escolhas.

Ao prof. Dr. João Almir Oliveira, pela atenção, sabedoria e pelos inúmeros ensinamentos que tanto contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

À *Compass Minerals | Plant Nutrition*, em especial ao Robson Mauri e ao José Marcos, pela oportunidade e apoio indispensáveis para a realização deste trabalho. Também agradeço ao João Silveira, que além de gestor, também é um grande amigo que sempre me apoiou para finalizar a tese.

Aos professores do Setor de Sementes, Dr. Everson Carvalho, Dr. Maria Laene, Dr. Renato Mendes, Dr. Édila Resende, Dr. Raquel Pires e Dr. Heloísa Oliveira, pelo conhecimento compartilhado e pela grande contribuição na minha formação.

Ao Dr. Lucas Ávila, pela amizade e ajuda indispensável na análise estatística dos dados, meu muito obrigado.

Aos meus colegas de trabalho e grandes amigos, Lucinda Monfort, Juliana Espindola, Rafaela Carvalho, Matheus Ogando, Levi Krepischi, Giovana Murari, Lara Resende, Gleice Lima e demais colegas do Laboratório Central de Sementes, meu muito obrigado pela amizade, pelas boas risadas e pela ajuda indispensável para a execução deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório Central de Sementes, Geraldo e Jaqueline, pela paciência e apoio às atividades durante a condução dos experimentos.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade oferecida para a realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

## RESUMO

A produção de sementes de soja de elevada qualidade é um desafio para o setor sementeiro. Embora pouco explorado na literatura, sabe-se que a nutrição mineral de plantas exerce influência direta sobre a produção e qualidade de sementes, porém, não há um consenso sobre os nutrientes que se relacionam com produtividade e qualidade de sementes. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito do enriquecimento de sementes de soja com níquel e molibdênio sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes produzidas. Foram conduzidos dois experimentos, ambos com duas cultivares de soja, onde se realizou a associação do tratamento de sementes (níquel, cobalto e molibdênio) com aplicações foliares de níquel e molibdênio. Em ambos os experimentos foram avaliadas a produtividade de sementes e de proteína, composição química das sementes (teor de óleo, proteína, nitrogênio, níquel e molibdênio), qualidade fisiológica (primeira contagem, germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência) e qualidade sanitária (incidência de *Aspergillus* spp., *C. kikuchii*, *Fusarium* spp.). O tratamento de sementes de soja com níquel, cobalto e molibdênio associado à aplicação foliar de 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel, aumenta os teores foliares de fósforo, potássio, cálcio, enxofre e boro. Para a cultivar SYN 13610 o tratamento de sementes seguida de aplicações foliares associadas ou não com 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel e 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio resultam em maiores produtividades. A aplicação de molibdênio via tratamento de sementes eleva o teor deste micronutriente nas sementes produzidas, aumento este, otimizado com 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio via foliar. O teor foliar de molibdênio aumenta com o tratamento de sementes contendo Ni, Co e Mo, porém, reduz com aplicação foliar de níquel na cultivar TMG 7062. As aplicações isoladas ou associadas de níquel no estádio V6 e molibdênio em R5.1 aumentam a produtividade de sementes da TMG 7062 e o teor de carboidratos totais nas sementes de M 6410. Para a cultivar TMG 7062 o tratamento de sementes com Ni, Co e Mo aumenta a retenção de sementes na peneira 7,0 mm. Ambas cultivares estudadas respondem de maneira semelhante ao enriquecimento das sementes com molibdênio, cujos maiores teores são obtidos com a aplicação de Ni, Co e Mo no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de 40 g de Mo ha<sup>-1</sup> no estádio R5.1, associada ou não à aplicação de 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> no estádio V6. O enriquecimento de sementes com níquel melhora a qualidade fisiológica. Por outro lado, o enriquecimento de sementes com molibdênio tem alta relação com o teor de proteína e nitrogênio nas sementes, os quais não contribuem com qualidade de sementes de soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Enriquecimento de sementes. Micronutrientes. Proteína.

## ABSTRACT

The production of high quality soy seeds is a challenge for the seed sector. Although little explored in the literature, it is known that plant mineral nutrition has a direct influence on seed production and quality, however, there is no consensus on the nutrients that relate to seed productivity and quality. Given the above, the objective of this study was to evaluate the effect of enriching soybean seeds with nickel and molybdenum on the physiological and health quality of the seeds produced. Two experiments were carried out, both with two soybean cultivars, where the seed treatment (nickel, cobalt and molybdenum) was combined with foliar applications of nickel and molybdenum. In both experiments, seed and protein productivity, chemical composition of seeds (oil, protein, nitrogen, nickel and molybdenum content), physiological quality (first count, germination, accelerated aging, electrical conductivity, emergence and speed index) were evaluated emergency) and sanitary quality (incidence of *Aspergillus* spp., *C. kikuchii*, *Fusarium* spp.). The treatment of soybean seeds with nickel, cobalt and molybdenum associated with the application of 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel increases the leaf contents of phosphorus, potassium, calcium, sulfur and boron. For the cultivar SYN 13610, seed treatment followed by foliar applications associated or not with 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel and 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum result in higher productivity. The application of molybdenum via seed treatment increases the content of this micronutrient in the seeds produced, an increase optimized with 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum via leaf. The foliar content of molybdenum increases with the treatment of seeds containing Ni, Co and Mo, but reduces with foliar application of nickel in TMG 7062. Isolated or associated applications of nickel in the V6 stage and molybdenum in R5.1 increase seed productivity of TMG 7062 and the total carbohydrate content in the seeds of M 6410. For the cultivar TMG 7062 the treatment of seeds with Ni, Co and Mo increases the retention of seeds in the 7.0 mm sieve. Both studied cultivars respond in a similar way to the enrichment of seeds with molybdenum, whose highest levels are obtained with the application of Ni, Co and Mo in the treatment of seeds followed by the foliar application of 40 g of Mo ha<sup>-1</sup> at the R5.1 stage, associated or not with the application of 10 g of Ni ha<sup>-1</sup> in the V6 stage. The enrichment of seeds with nickel improves the physiological quality, but increases the incidence of *Aspergillus* and *Fusarium* sp. On the other hand, enrichment of seeds with molybdenum has a high relationship with the protein and nitrogen content in the seeds, which do not contribute with quality of soybean seeds.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Seed enrichment. Micronutrients. Protein.



## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO..... 10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO ..... 12</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância socioeconômica da soja ..... 12</b>
<b>2.2</b>	<b>Nutrição mineral na produção de sementes de soja ..... 12</b>
<b>2.3</b>	<b>Enriquecimento de sementes com micronutrientes ..... 14</b>
<b>2.4</b>	<b>Qualidade de sementes enriquecidas com micronutrientes ..... 15</b>
	<b>REFERÊNCIAS..... 17</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS* ..... 21</b>
	<b>ARTIGO 1 - NICKEL, COBALT AND MOLYBDENUM APPLICATION TO SOYBEAN CROP: YIELD AND SEEDS COMPOSITION ..... 22</b>
	<b>ARTIGO 2 - PRODUTIVIDADE E ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM APLICAÇÃO DE NÍQUEL E MOLIBDÊNIO ..... 37</b>
	<b>ARTIGO 3 - QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA ENRIQUECIDAS COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO ..... 51</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 75</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura mais importante no agronegócio brasileiro (CONAB, 2020). Esta oleaginosa constitui uma importante fonte de proteína para alimentação animal e humana, bem como tem sido utilizada como matéria-prima para a fabricação de biocombustíveis (HUNGRIA; MENDES, 2015).

O teor de proteína em sementes de soja varia de 33 a 42% (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Sabe-se que o teor de proteína em sementes de soja pode variar de acordo com a cultivar e época de semeadura (FARIA *et al.*, 2018), bem como pelo manejo nutricional envolvido na eficiência da fixação biológica de nitrogênio e, conseqüentemente, no metabolismo de nitrogênio na folha para produção de proteínas (SOUZA *et al.*, 2009; POLACCO *et al.*, 2013; LAVRES *et al.*, 2016; BARCELOS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A eficiência da fixação biológica de nitrogênio é afetada por diversos fatores (CAMPO *et al.*, 2009), dentre os quais a adequada nutrição mineral de plantas, especialmente com níquel, cobalto e molibdênio, tem recebido atenção especial (DOURADO NETO *et al.*, 2012; LAVRES *et al.*, 2016; CORTESE *et al.*, 2019), haja vista que estes nutrientes fazem parte de enzimas ou são co-fatores essenciais para o processo de FBN e metabolismo de nitrogênio na planta de soja (AHMED; EVANS, 1961; EVANS *et al.*, 1987; MENDEL; HÄNSCH, 2002). Entretanto, mesmo sabendo da importância da adequada nutrição das plantas para a FBN e outros processos fisiológicos, os benefícios da nutrição associando níquel, cobalto e molibdênio sobre a produtividade e qualidade de sementes de soja ainda é pouco compreendida, bem como discutida em órgãos de pesquisa e empresas do segmento sementeiro.

A exigência nutricional da soja para níquel (7,5 a 20 g ha<sup>-1</sup>), cobalto (2 a 3 g ha<sup>-1</sup>) e molibdênio (12 a 25 g ha<sup>-1</sup>) é relativamente baixa quando comparada com outros nutrientes (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; BARCELOS *et al.*, 2017; LAVRES *et al.*, 2016). Por este motivo e outros relacionados à praticidade operacional e eficiência, estes nutrientes são preferencialmente aplicados no tratamento de sementes de soja (DOURADO NETO *et al.*, 2012; LAVRES *et al.*, 2016) e/ou aplicações foliares (BARCELOS *et al.*, 2017; CORTESE *et al.*, 2019). Outra forma viável e eficaz de fornecer níquel e molibdênio às plantas é o uso de sementes enriquecidas (KUTMAN *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015; CORTESE *et al.*, 2019), as quais podem fornecer quantidades satisfatórias destes nutrientes para o desenvolvimento da cultura da soja (CAMPO *et al.*, 2009).

Diante da importância da produção de sementes de alta qualidade e também da carência de estudos que avaliem o efeito da interação de nutrientes na qualidade de sementes de soja, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da aplicação de níquel, cobalto e molibdênio na produtividade e no enriquecimento de sementes de soja e sua relação com a qualidade fisiológica e sanitária.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância socioeconômica da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é originária do leste da Ásia, mais precisamente na região do rio Yangtzé, na China. Ao longo de muitas décadas de seleções chegou-se à leguminosa que ganhou espaço em outros continentes por apresentar elevados teores de óleo e proteína no grão (ZANON *et al.*, 2018).

No Brasil, há relatos do uso da soja como forrageira no estado da Bahia, em meados de 1880 (ZANON *et al.*, 2015). Contudo, o cultivo da soja só ganhou destaque no Brasil a partir dos anos 70 e 80, resultado de intensos esforços por parte de programas de melhoramento genético e incentivos fiscais em fertilidade do solo (ZANON *et al.*, 2018).

Nos dias atuais, a soja é a cultura mais importante no agronegócio brasileiro (CONAB, 2020). Esta oleaginosa constitui uma importante fonte de proteína para alimentação animal e humana, bem como tem sido utilizada como matéria-prima para fabricação de biocombustíveis (HUNGRIA; MENDES, 2015).

As estimativas para a safra 2019/2020 indicam que a produção de soja no Brasil atingiu a marca de mais de 120,3 milhões de toneladas em uma área cultivada de aproximadamente 36,8 milhões de hectares, resultado em uma produtividade média de 3.266 kg/ha (CONAB, 2020).

Em função da importância da cultura e, ao mesmo tempo diante da necessidade de aumentar a produtividade da soja no Brasil, muitos esforços têm sido direcionados pela pesquisa para se obter maiores rendimentos, o que, conseqüentemente, exige melhor entendimento das demandas nutricionais pela cultura (LEVY *et al.*, 2019).

### 2.2 Nutrição mineral na produção de sementes de soja

Nos últimos anos tem-se observado crescimento na produtividade da soja no Brasil, resultado não só do maior potencial produtivo das cultivares, mas também da melhoria do ambiente de produção, com destaque para o manejo do solo. Diante deste incremento de produtividade faz-se necessário aperfeiçoar as estratégias de aplicação de quantidades adequadas de nutrientes de maneira a atingir sucesso econômico da atividade agrícola e da sustentabilidade ambiental (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2020).

Assim, a cultura da soja exige 14 nutrientes essenciais (MALAVOLTA, 2006). Por apresentar maiores concentrações nos tecidos vegetais, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são considerados macronutrientes. Os elementos boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e, mais recentemente, níquel (Ni), são considerados micronutrientes, ou seja, encontram-se nos tecidos vegetais em menores concentrações (CÂMARA, 2015).

Os elevados teores de proteína nas sementes de soja (33 a 42%) fazem do nitrogênio o nutriente mais exigido em quantidade pela cultura (OLIVEIRA *et al.*, 2018), sendo que o suprimento deste nutriente é realizado em grande parte pela fixação biológica de nitrogênio (HUNGRIA; MENDES, 2015). Sabe-se que a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) exerce influência direta sobre a produtividade (LAVRES *et al.*, 2016) e o teor de proteína em soja (GELAIN *et al.*, 2011), e que o teor de proteína é um indicativo importante da qualidade fisiológica de sementes de soja (MATHIAS *et al.*, 2019). Portanto, maximizar a eficiência do processo de FBN e o metabolismo de nitrogênio nas plantas torna-se essencial para elevar a produtividade da cultura da soja e a obtenção de sementes de elevada qualidade.

A eficiência da fixação biológica de nitrogênio é afetada por diversos fatores (CAMPO *et al.*, 2009), dentre os quais a adequada nutrição mineral de plantas, especialmente com níquel, cobalto e molibdênio, tem recebido atenção especial (DOURADO NETO *et al.*, 2012; LAVRES *et al.*, 2016; CORTESE *et al.*, 2019), haja vista que estes nutrientes fazem parte de enzimas (hidrogenase, leghemoglobina e nitrogenase, respectivamente) ou são cofatores essenciais para o processo de FBN e metabolismo de nitrogênio na planta de soja (AHMED; EVANS, 1961; EVANS *et al.*, 1987; MENDEL; HÄNSCH, 2002). Entretanto, mesmo sabendo da importância da adequada nutrição das plantas para a FBN e outros processos fisiológicos, os benefícios da nutrição associando níquel, cobalto e molibdênio e possíveis interações sobre a produtividade e qualidade de sementes de soja ainda é pouco compreendida, bem como discutida por órgãos de pesquisa e empresas do segmento sementeiro.

As exigências nutricionais da soja para níquel é de 7,5 a 20 g ha<sup>-1</sup>, cobalto de 2 a 3 g ha<sup>-1</sup> e molibdênio de 12 a 25 g ha<sup>-1</sup>, são relativamente baixa quando comparadas com outros nutrientes (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; BARCELOS *et al.*, 2017; LAVRES *et al.*, 2016). Por este motivo e outros relacionados à praticidade operacional e eficiência, estes nutrientes são preferencialmente aplicados no tratamento de sementes de soja (DOURADO NETO *et al.*, 2012; LAVRES *et al.*, 2016) e/ou aplicações foliares (BARCELOS *et al.*, 2017; Cortese *et al.*, 2019). Outra forma viável e eficaz de fornecer níquel e molibdênio às plantas é o uso de

sementes enriquecidas (KUTMAN *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015; CORTESE *et al.*, 2019), as quais podem fornecer quantidades satisfatórias destes nutrientes para o desenvolvimento da cultura da soja (CAMPO *et al.*, 2009).

### 2.3 Enriquecimento de sementes com micronutrientes

O enriquecimento de sementes é uma técnica que visa aumentar o teor de nutrientes nas sementes a partir de aplicações durante o desenvolvimento da cultura da soja (CAMPO *et al.*, 2009). Esta técnica é uma alternativa economicamente viável e eficaz no fornecimento de nutrientes às plantas a partir das reservas das sementes enriquecidas com molibdênio aplicado no tratamento de sementes e/ou foliar (OLIVEIRA *et al.*, 2015), com aumento significativo em produtividade (CAMPO *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os estudos com enriquecimento de sementes de soja são frequentemente relacionados a micronutrientes, tal como níquel (KUTMAN *et al.*, 2013; KUTMAN *et al.*, 2014; BARCELOS *et al.*, 2017) e molibdênio (CAMPO *et al.*, 2009; MILANI *et al.*, 2010, OLIVEIRA *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2017), que são exigidos em poucas gramas por hectare (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; BARCELOS *et al.*, 2017; LAVRES *et al.*, 2016) e apresentam mobilidade no floema (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Contudo, a maioria destes trabalhos avaliaram o efeito isolado dos nutrientes, o que fundamenta a necessidade de estudos que investiguem a resposta da interação destes nutrientes sobre a produtividade, enriquecimento e qualidade das sementes de soja.

Embora não dispense a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio nas sementes ou via aplicações foliares, a utilização de sementes enriquecidas, especialmente com molibdênio, melhora a fixação biológica de nitrogênio, aumentando o rendimento da soja e o teor de proteína nos grãos (CAMPO *et al.*, 2009).

O enriquecimento de sementes com molibdênio tem sido realizado com duas aplicações de 200 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio entre os estádios R3 e R5.3, com intervalo mínimo de 10 dias (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020). O manejo para enriquecimento de sementes com níquel ainda não está bem definido. Em estudos com aplicações foliares de doses de níquel (0 a 100 g ha<sup>-1</sup>) em soja, Barcelos *et al.* (2017) constataram incremento linear no teor de níquel nas sementes, entretanto, a produtividade máxima foi obtida para a dose de 20 g ha<sup>-1</sup> de níquel. Também em estudos com níquel, Kutman *et al.* (2014) observaram que o uso de sementes enriquecidas com níquel, cujas plantas foram cultivadas em solução nutritiva, resultou em melhorias no metabolismo de nitrogênio e crescimento de plantas de soja.

É importante ressaltar, que o molibdênio e o níquel são essenciais para a fixação biológica de nitrogênio e metabolismo de nitrogênio na cultura da soja (MARSCHNER, 2012; POLACCO *et al.*, 2013). Estudos indicam que a aplicação destes nutrientes, juntamente com o cobalto, propicia não só aumento de produtividade de sementes em decorrência da maior fixação biológica de nitrogênio (DOURADO NETO *et al.*, 2012; LAVRES *et al.*, 2016), mas também aumento de proteína e qualidade das sementes (BARCELOS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; CORTESE *et al.*, 2019; GEWEHR *et al.*, 2019).

#### **2.4 Qualidade de sementes enriquecidas com micronutrientes**

A qualidade de sementes é o somatório de atributos de qualidade física, genética, fisiológica e sanitária, que, juntos, conferem adequado estabelecimento de plântulas em campo e, conseqüentemente, potencial produtivo (ROSSI *et al.*, 2017; KRZYZANOWSKI *et al.*, 2018). Vale ressaltar, que além dos desafios enfrentados na produção de sementes de qualidade (FRANÇA-NETO *et al.*, 2016; FRANÇA-NETO *et al.*, 2018), é importante mencionar que a conservação da qualidade das sementes durante o armazenamento também compreenda uma etapa crítica que pode definir o descarte ou a comercialização do lote de sementes.

Diante dos desafios na obtenção de sementes de soja de alta qualidade, alguns estudos apontam que o teor de proteínas pode ser um indicativo de manutenção da qualidade fisiológica de sementes de soja (DELARMELINO-FERRARESI *et al.*, 2014; MATHIAS *et al.*, 2019), uma vez que os processos bioquímicos relacionados ao vigor de sementes estão relacionados a variações nos teores de proteína (HENNING *et al.*, 2010; HAN *et al.*, 2013; MARCOS-FILHO, 2015).

O teor de proteína em sementes de soja varia de 33 a 42% (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Sabe-se que o teor de proteína em sementes de soja pode variar de acordo com a cultivar e época de semeadura (FARIA *et al.*, 2018), bem como, conforme já mencionado, pelo manejo nutricional envolvido na eficiência da fixação biológica de nitrogênio e, conseqüentemente, no metabolismo de nitrogênio na folha para produção de proteínas (SOUZA *et al.*, 2009; POLACCO *et al.*, 2013; LAVRES *et al.*, 2016; BARCELOS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Conforme mencionado anteriormente, o teor de proteína em sementes de soja está relacionado com a eficiência da fixação biológica de nitrogênio, processo este, dependente da nutrição de plantas, especialmente níquel, cobalto e molibdênio (DOURADO NETO *et al.*,



2012; LAVRES *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Tais informações justificam a necessidade do fornecimento equilibrado nestes nutrientes às plantas de soja, visando melhorar a composição química e qualidade fisiológica e sanitária das sementes.

Em estudos com aplicação de molibdênio em soja, Campo *et al.* (2009) constataram incremento de até 3000% no teor de molibdênio em sementes produzidas com aplicação deste nutriente no estágio R5.1. Também ao aplicar molibdênio no tratamento de sementes ou via folha no estágio R5.1, Oliveira *et al.* (2017) verificaram que o teor de proteína nas sementes aumentou 9%. Alguns estudos apontam que este incremento de proteína e molibdênio nas sementes não resultaram em melhoria na germinação e vigor de sementes de soja (Milani *et al.*, 2010; POSSENTI; VILLELA, 2010; CORTESE *et al.*, 2019). Entretanto, Gewehr *et al.* (2019) constataram incremento linear na massa seca de plântulas, demonstrando melhoria no vigor de plântulas oriundas de sementes enriquecidas com molibdênio.

A literatura atual dispõe de poucas informações sobre a influência do níquel na qualidade de sementes. Com base nos poucos trabalhos existentes, constata-se que aplicações foliares de níquel resultou no enriquecimento das sementes de soja com este micronutriente e, conseqüentemente, em incremento linear na primeira contagem, germinação e emergência de plântulas das sementes obtidas (BARCELOS *et al.*, 2017). De maneira semelhante, Kutman *et al.* (2013) verificaram aumento na germinação e crescimento de plântulas de sementes de trigo oriundas de plantas bem nutridas com níquel.

Diante do exposto, é possível identificar a complexidade da influência da nutrição mineral de plantas sobre a qualidade de sementes enriquecidas com níquel e, principalmente, com molibdênio. Entretanto, é importante ressaltar que, em ambos estudos, a resposta em qualidade de sementes foi avaliada com a aplicação isolada de cada nutriente, havendo assim, oportunidade de estudo para investigar a associação de níquel e molibdênio, juntamente com cobalto, sobre não só a composição química das sementes, mas também sobre a qualidade fisiológica e sanitária.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, S.; EVANS, H.J. The essentiality of cobalt for soybean plants grown under symbiotic conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.l.], v. 47, n. 1, p. 24-36, 1961.
- BARCELOS, J.P.Q.; OSÓRIO, C.R.W.S.; LEAL, A.J.F.; ALVES, C.Z.; SANTOS, E.F.; REIS, H.P.G.; REIS, A.R. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 184-192, 2017.
- CÂMARA, G.M.S. Adubação. *In*: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 110-148.
- CAMPO, R.J.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 110, n. 3, p. 219-224, 2009.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2019/20. - Oitavo levantamento, Brasília: CONAB, maio 2019. V. 7, N. 8, 125 p.
- CORTESE, D.; PIEROZAN JUNIOR, C.; WALTER, J.B.; CORTESE, D.; OLIVEIRA, S.M. Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 41, n. 2, p. 144-150, 2019.
- DELARMELINO-FERRARESI, L.M.; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T.Z. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 14-18, 2014.
- DOURADO NETO, D.; DARIO, G.J.A.; MARTIN, T.N.; SILVA, M.R.; PAVINATO, P.S.; HABITZREITER, T.L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 2741-2752, 2012.
- EVANS, H.J.; HARKER, A.R.; PAPEN, H.; RUSSELL, S.A.; HANUS, F.J.; ZUBER, M. Physiology, biochemistry, and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. **Annual Review of Microbiology**, [S.l.], v. 41, p. 335-361, 1987.
- FARIA, L.A.; PELUZIO, J.M.; SANTOS, W.F.; SOUZA, C.M.; COLOMBO, G.A.; AFFÉRI, F.S. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. e5518, 2018.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documentos 380).
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 108 p. (Documentos 406).

- GELAIN, E.; ROSA JUNIOR, E.J.; MERCANTE, F.M.; FORTES, D.G.; SOUZA, F.R.; ROSA, Y.B.C.J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.
- GEWEHR, E.; CORRÊA, O.O.; SUÑE, A.S.; DUARTE, G.B.; AMARANTE, L.; TUNES, L. V.M.; RODRIGUES, D.B. Treatment of soybean seeds with molybdenum and inoculant: nitrate reductase activity and agronomic performance. **Comunicata Scientiae**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 185-194, 2019.
- HAN, C.; YIN, X.; HE, D.; YANG, P. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed, and its comparison with rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. **Plos One**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. e56947, 2013.
- HENNING, F.A.; MERTZ, L.M.; JACOB JUNIOR, E.A.; MACHADO, R.D.; FISS, G.; ZIMMER, P.D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, [S.l.], v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.
- HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? *In*: BRUIJN, F.J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. p.1009-1024.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Fixação biológica de nitrogênio. *In*: SEIXAS, C.D.S. *et al.* **Tecnologia de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p.185-195. (Sistemas de Produção 17).
- KUTMAN, B.Y.; KUTMAN, U.B.; CAKMAK, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. **Plant and Soil**, [S.l.], n. 376, n. 1-2, p. 261-276, 2014.
- KUTMAN, B.Y.; KUTMAN, U.B.; CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, [S.l.], n. 363, n. 1-2, p. 61-75, 2013.
- KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para produção da cultura**. Londrina: Embrapa, 2018. 24 p. (Circular Técnica 136).
- LAVRES, J.; FRANCO, G.C.; CÂMARA, G.M.S. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, [S.l.], v. 4, n. 37, p. 1-11, 2016.
- LEVY, C.C.B.; MELLIS, E.V.; MURRER, M.K.; INGLÉS, C.R.; DAYNES, C.N.; CAVALLI, E.; CHIBA, M.K. Effects of nickel fertilization on soybean growth in tropical soils. **Bragantia**, [S.l.], v. 78, n. 3, p. 432-443, 2019.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, [S.l.], v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MATHIAS, V.; COELHO, C.M.M.; GARCIA, J. Soluble protein as indicative of physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, [S.l.], v.2, n., p.30-740, 2019.

MENDEL, R.R.; HÄNSCH, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 53, n. 375, p. 1689-1698, 2002.

MILANI, G.L.; OLIVEIRA, J.A.; PEREIRA, E.M.; CARVALHO, B.O.; OLIVEIRA, G.E.; COSTA, R.R. Aplicação foliar de molibdênio durante a maturação de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 810-816, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, A.O.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S. et al. **Tecnologia de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p.133-184. (Sistemas de Produção 17).

OLIVEIRA, C.O.; PINTO, C.C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J.V.T.; SÁ, M.E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, [S.l.], v. 64, n. 3, p. 282-290, 2017.

OLIVEIRA, C.O.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M.A.A.; PINTO, C.C.; SÁ, M.E. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 82-88, 2015.

OLIVEIRA, M.A.; MANDARINO, J.M.G.; LEITE, R.S. Características físico-químicas das sementes de soja: teor de proteína, teor de óleo, acidez do óleo e teor de clorofila. In: LORINI, I. **Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil - safra 2016/17**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 97-111. (Documentos, 403).

POLACCO, J.C.; MAZZAFERA, P.; TEZOTTO, T. Opinion-nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Science**, [S.l.], v. 199-200, [S.n.], p. 79-90, 2013.

POSSENTI, J.C.; VILLELA, F.A. Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 143-150, 2010.

ROSSI, R.F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J.B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônomo de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, M.C. **Soja: Molibdênio e cobalto**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 36 p.

SOUZA, L C.; ZANON, G.D.; PEDROSO, F.F.; ANDRADE, L.H.L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.

ZANON, A.J. *et al.* **Ecofisiologia da soja: Visando altas produtividades.** Santa Maria, 2018. 136 p.

ZANON, A.J. **Crescimento, desenvolvimento e potencial de rendimento de soja em função do tipo de crescimento e grupo de maturidade relativa em ambiente subtropical.** 2015. 179 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS\***

**ARTIGO 1 - NICKEL, COBALT AND MOLYBDENUM APPLICATION TO  
SOYBEAN CROP: YIELD AND SEEDS COMPOSITION<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo aceito para publicação na Journal of Agricultural Science

# Nickel, cobalt and molybdenum application to soybean crop: yield and seeds composition

Hellismar Wakson da Silva<sup>1</sup>, João Almir Oliveira<sup>1</sup>, Everson Reis Carvalho<sup>1</sup>, Juliana Maria Espindola Lima<sup>1</sup>, Lucinda Helena Fragoso Monfort<sup>1</sup>, Matheus Ogando do Granja<sup>1</sup>, Levi Suzigan Krepsichi<sup>1</sup>; Lara Fernanda Leite Resende<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agriculture, Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil

Correspondence: Hellismar Wakson da Silva, Department of Agriculture, Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil. Tel: 55-35-99830-6134. E-mail: waksonhellismar@gmail.com

*The research is financed by CNPq, CAPES e Compass Minerals | Plant Nutrition.*

## Abstract

Nickel (Ni), cobalt (Co) and molybdenum (Mo) are nutrients required in small amounts so that the nitrogen metabolism in soybean plants occurs properly. In addition, foliar fertilization and the soybean seeds enrichment with these elements is a promising alternative for the mineral nutrition of plants. The aim of this research was to evaluate the soybean yield and chemical seeds changes after the nickel, cobalt and molybdenum application in different ways. The experiment was carried out at Lavras Federal University, Lavras, Brazil. The experiment was outlined in randomized block and a 2x9 factorial scheme was used. The first factor was two cultivars (SYN 13610 and SYN 13671) and the second factor was nine combinations of nickel, cobalt and molybdenum fertilizations, applied through seed treatments and/or foliar applications. The nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu, Mn, Zn, Ni and Mo) and chemical seeds composition (carbohydrates, oil, protein, nickel and molybdenum) were evaluated. The soybean seeds treatment with nickel, cobalt and molybdenum associated with 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel application increases phosphorus, potassium, calcium, sulfur and boron foliar levels. For a cultivar SYN 13610, seed treatment with nickel, cobalt and molybdenum with or without applications of 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel and 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum resulted in higher yield. The content of molybdenum in the seeds increases with the application of this micronutrient through seed treatment and, mainly, through foliar application in the dose of 40 g ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Foliar application, seed enrichment, *Glycine max* (L.) Merrill, micronutrients, seed treatment.

## 1. Introduction

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the main crops in Brazilian agribusiness. Estimates for the 2018/2019 season indicate that grain production is expected to reach 118.8 million tons (Conab, 2019). To support this growth, it is necessary to adopt technological innovations, many of these are propagated by seeds (Santos et al., 2018).

The seed is the starting point for the soybean production chain; it carries not only the multiplied genetics but also attributes of physical, physiological and sanitary quality that confer adequate establishment of seedlings in the field and, consequently, productive potential (Rossi, Cavariani & França Neto, 2017; Krzyzanowski, França-Neto & Henning, 2018). Seeds of high vigor tend to generate productive gains, confirming the relevance of the use of high-quality seeds (Scheeren et al., 2010). However, high-quality seed production is still a



challenge for the seed sector, especially as climatic and nutritional stresses are considered the main causes of seed deterioration (França-Neto, 2016; França-Neto et al., 2018).

In soybean production fields, the adequate supply of macro and micronutrients is essential to obtain high yield and high-quality seed production (França-Neto et al., 2016). The high protein content (about 33-42%) in soybean seeds makes nitrogen the most required nutrient in the crop (Hungria & Mendes, 2015; Oliveira et al., 2018), whose supply depends largely on inoculation with N<sub>2</sub>-fixing bacteria strains (Hungria & Mendes, 2015), which is essential for the success of soybean cultivation.

The efficiency of the biological nitrogen fixation process (BNF) depends on several factors related to plant, bacteria, symbiosis and the environment (Campo, Araujo & Hungria, 2009). In addition, the limited availability of macro and micronutrients in soil, especially nickel, cobalt and molybdenum (Ahmed & Evans, 1961; Evans et al., 1987; Mendel & Hänsch, 2002) are also among the constraints that negatively affect fixation (Nunes et al., 2003), and the effects of nitrogen on the soil surface.

Molybdenum constitutes at least five distinct enzymes (Mendel & Hänsch, 2002), among which nitrogenase and nitrate reductase are directly related to biological nitrogen fixation and nitrogen metabolism in the plant (Marschner, 2012). Cobalt, which until now has been considered a beneficial element to plants (Pilon-Smits et al., 2009), is a constituent of the cobalamin enzyme complex, precursor to the synthesis of leghemoglobin that determines the activity of nodules (Ahmed & Evans, 1961; Marschner, 2012). Nickel is involved in the structure of several enzymes, including ureases, glyoxalases, glutathione, superoxide dismutase, and hydrogenase (Brown, Welch & Cary, 1987; Küpper & Kroneck 2009; Polacco et al., 2013; Fabiano et al., 2015), and the latter acts in the recycling of the H<sub>2</sub> coming from the process of biological fixation of nitrogen (Evans et al., 1987). However, especially for nickel, information on the interactions of these nutrients and the consequences on crop and seed production are still restricted.

For cobalt and molybdenum in soybean cultivation in Brazil, 2 to 3 g ha<sup>-1</sup> of Co and 12 to 25 g ha<sup>-1</sup> of Mo are recommended for seed treatment or foliar application (Sfredo & Oliveira, 2010). The treatment of soybean seeds with up to 135 mg Ni kg<sup>-1</sup> of seeds (equivalent to 7.5 g Ni ha<sup>-1</sup>) (Lavres, Franco & Câmara, 2016) or the foliar application of up to 20 g of Ni ha<sup>-1</sup> (Barcelos et al., 2017) caused an increase in urease activity and productivity. Another alternative that has shown to be economically viable and effective in supplying nickel and molybdenum to soybean plants is the use of seeds enriched with these micronutrients (Milani et al., 2010; Kutman, Kutman & Cakmak, 2013, Kutman, Kutman & Cakmak, 2014, Oliveira et al., 2017). However, studies are still needed to investigate the associations and interactions of these micronutrients in the production of enriched soybeans.

The objective of this work was to evaluate the agronomic characteristics, among them the productivity, foliar contents and the chemical composition of soybean seeds as a function of the use of nickel, cobalt and molybdenum, in association, through seed treatment and foliar applications.

## 2. Material and Methods

### 2.1 Experiment location and set-up

The research was conducted at the Center for Scientific and Technological Development in Agriculture of the Federal University of Lavras, located in the municipality of Lavras - MG, at 21° 12'S latitude, 44° 58' W longitude and altitude of 955 m. The climatic data collected during the conduction of the experiment are presented in Figure 1.

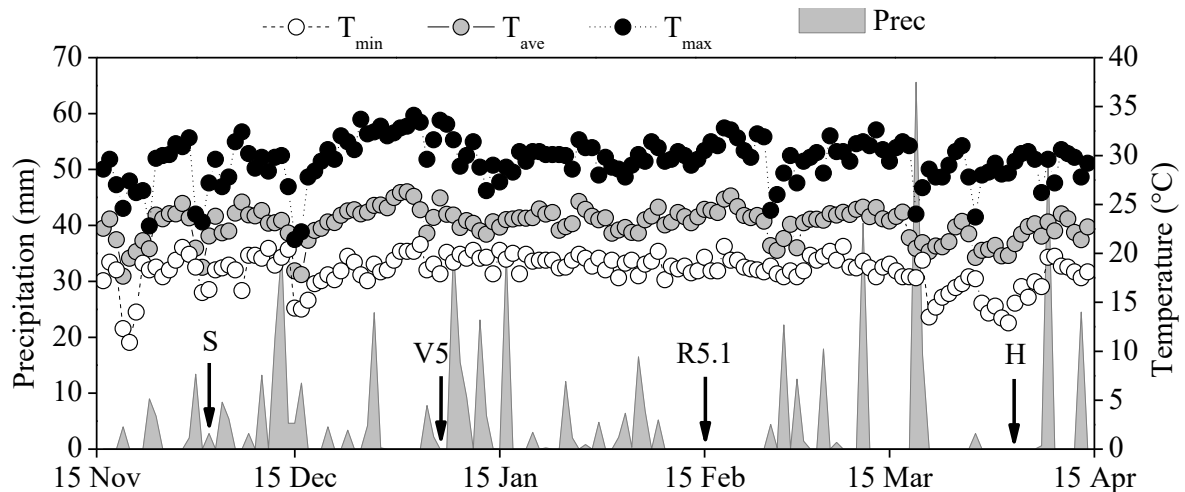


Figure 1. Minimum temperature ( $T_{\min}$ ), average ( $T_{\text{ave}}$ ) and maximum ( $T_{\max}$ ) and daily precipitation (Prec) during the experimental period (November 2016 to April 2017). Lavras, MG, Brazil. Source: National Institute of Meteorology.

Note. S - Sowing; V5 - plants with four fully expanded trifoliolate leaf (Fehr et al., 1971); R5.1 - pods with 10% granulation in one of the four upper nodes on the main stem (Ritchie et al., 1985); H - Harvest.

The experiment was carried out in a soil classified as a Typical Dystrophic Red Latosol (clay:  $640 \text{ g kg}^{-1}$ ; silt:  $200 \text{ g kg}^{-1}$ ; sand:  $160 \text{ g kg}^{-1}$ ), whose chemical characteristics are shown in Table 1.

Table 1. Soil chemical attributes of the experimental area. Lavras, MG, Brazil.

Depth (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T
	H <sub>2</sub> O	-- $\text{mg dm}^{-3}$	--	----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----				-----	-----	-----
0-20	5.8	24.10	48.64	3.69	0.63	0.10	4.47	4.4	4.54	8.91
20-40	5.3	9.66	37.98	1.89	0.33	0.20	7.62	2.32	4.52	9.94
Depth (cm)	V	m	OM	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	---- %	----	$\text{dag kg}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	----- $\text{mg dm}^{-3}$ -----					
0-20	49.88	2.20	3.11	29.61	2.47	85.79	13.45	0.68	0.17	11.58
20-40	23.31	48.67	2.63	19.80	1.54	80.64	13.34	0.76	0.18	27.64

Note. H + Al: Potential acidity; SB: sum of bases; t: effective cation exchange capacity; T: cation exchange capacity at pH 7.0; V: Base saturation; m: effective acidity; OM: Organic matter; P-Rem.: remaining phosphorus.

The opening of the furrows in the soil and fertilization of sowing with  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  of NPK (formulation 06-30-10) were performed mechanically. The experimental plots consisted of 4 rows of 5 meters in length, spaced 0.6 m apart, totaling  $12 \text{ m}^2$ . As a useful plot, the two central rows were considered, disregarding 0.5 m at each end.

The soybean seeds of cultivars SYN 13610 IPRO and SYN 13671 IPRO were hand sown under no-tillage system on December 2, 2016. The thinning was performed 30 days after sowing, maintaining 18 plants per linear meter. The seeds were treated with fungicide and insecticide (Pyraclostrobin + Thiophanate methyl + Fipronil) at the dose of 200 mL c.p.  $100 \text{ kg}^{-1}$  of seeds, and inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079 and SEMIA

5080) at the dose of 100 mL 50 kg<sup>-1</sup> of commercial seed, corresponding to 1.4 x 10<sup>6</sup> bacteria per seed. The other cultural treatments were carried out uniformly according to need and technical recommendations.

## 2.2 Treatments

The treatments of fertilization with nickel, cobalt and molybdenum involved doses and forms of application, as presented in Table 2. Seed treatment was carried out with mixed mineral fertilizer (12.0 g L<sup>-1</sup> Ni, 6.0 g L<sup>-1</sup> of Co and 120.6 g L<sup>-1</sup> of Mo) at the dose of 150 mL ha<sup>-1</sup>, corresponding to 1.8 g ha<sup>-1</sup> of nickel, 0.9 g ha<sup>-1</sup> of cobalt and 18.1 g ha<sup>-1</sup> molybdenum. For the foliar applications with nickel (EDTA nickel chelate - 13% Ni) and molybdenum (sodium molybdate - 42% Mo), a constant pressure sprayer with CO<sub>2</sub> (2.6 kgf cm<sup>-2</sup>) was used with volume of 200 L ha<sup>-1</sup>. During the application the plot was wrapped with plastic tarpaulin for drift control.

Table 2. Description of treatments, doses and form of application of nickel (Ni), cobalt (Co) and molybdenum (Mo) in the production of soybean seeds.

Treatments	Product	Dose (g ha <sup>-1</sup> )	Form of application
C	Control	-	-
ST	Ni, Co, Mo	1.8; 0.9; 18.1	ST
ST(Ni)1	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 10	ST + FA
ST(Ni)2	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 20	ST + FA
ST(Mo)1	Ni, Co, Mo + Mo <sup>2</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 20	ST + FA
ST(Mo)2	Ni, Co, Mo + Mo <sup>2</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 40	ST + FA
ST(NiMo)1	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 10 + 20	ST + FA + FA
ST(NiMo)2	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 10 + 40	ST + FA + FA
ST(NiMo)3	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1.8; 0.9; 18.1 + 20 + 40	ST + FA + FA

Note. Ni<sup>1</sup> - Nickel applied at the V5 stage (Fehr et al., 1971); Mo<sup>2</sup> - Molybdenum applied at the R5.1 stage (Ritchie et al., 1985); ST - Seed treatment; FA - Foliar application.

## 2.3 Evaluation of agronomic characteristics

In the phenological stage R2 (Fehr et al., 1971), which characterizes full bloom, the third trifoliate leaf with petiole was collected from the apex of the plants, in 20% of the plants of the useful plot (Embrapa, 2013). The chemical analyses of leaf nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu, Mn, Zn, Ni, Mo) were performed following the procedures described by Malavolta, Vitti & Oliveira (1997), Brazilian Institute of Analyses (IBRA), Sumaré, SP, Brazil.

Upon reaching the full maturation stage (R8, Fehr et al., 1971), ten plants were randomly collected in the useful plot and the following characteristics were analyzed:

Plant height (PH): obtained by measuring the distance between the collar and the apex of the plant, and the average expressed in centimeters (cm). Number of pods per plant (NPP): measured by the average seed pods. Number of seeds per pod (NSP): after the threshing of the seeds and counting of the seeds, the number of seeds was divided by the number of pods per plant.

After harvesting all the plants of the useful plot, threshing them and manually processing the seeds in sieves (5.0, 6.0 and 7.0 mm mesh sizes), seed productivity in kg ha<sup>-1</sup> was determined, correcting the moisture content to 13% (wet basis). Thousand seed mass (TSM): eight replicates of 100 seeds with a mean moisture content of 13% were weighed on a precision scale (0.01 g) and then the TSM was calculated according to Brazil (2009).

#### 2.4 Determination of the chemical composition of seeds

After harvesting and processing, the seeds were homogenized and a 100-g sample of each plot was taken to determine the chemical composition of the seeds. To determine the oil content, the total lipids were extracted according to the technique described by Bligh & Dyer (1959). The crude protein content was obtained from the nitrogen content determined by the Kjeldahl method, using the factor 6.25 (Miyazawa et al., 2009). The ash content was determined by calcinating the samples at 550 °C, according to the method described in the analytical standards of the Adolfo Lutz Institute (IAL, 1985). The total carbohydrate content was obtained by the percentage difference of the oil content (%OIL), protein (%PRO) and ash (%ASH), as shown below:  $\%CAR = 100 - (\%OIL + \%PRO + \%ASH)$  (Moraes et al., 2006). The nickel and molybdenum contents were determined according to the procedures described by Miyazawa et al. (2009). The analyses were carried out in the Department of Technology of the São Paulo State University, Jaboticabal Campus, Jaboticabal, SP, Brazil.

#### 2.5 Statistical analysis and statistical design

The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications and treatments were arranged in a 2 x 9 factorial scheme, corresponding to two cultivars and nine treatments, combining the fertilizations with nickel, cobalt and molybdenum.

Data were submitted to analysis of variance ( $p < 0.05$ ) using Sisvar<sup>®</sup> software (Ferreira, 2014). When necessary the means were grouped by the Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ). The Scheffé test ( $p < 0.05$ ) was also used to test the necessary and relevant contrasts. It should be noted that for the foliar nutrient contents, which were determined in the R2 stage before the application of molybdenum in R5.1, the factorial scheme 2 x 4 was used in the analyses, consisting of two cultivars and four treatments [C; ST; ST(Ni)1 and ST(Ni)2, according to Table 2, whose means of treatment were analyzed with LSD test ( $p < 0.05$ ).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Leaf diagnosis

The cultivars did not show differences as to nutrient contents in the leaf (Table 3), genotypes belonging to the same company. Carvalho et al. (2015) suggest a possible relation of the micronutrient response conditioned to the genotype.

The analyzed treatments containing nickel, cobalt and molybdenum did not influence the nitrogen, iron, zinc, nickel and molybdenum contents of the two soybean cultivars studied (Table 3). Studies carried out with soybean have shown that leaf macro and micronutrient contents are little changed with the application of nickel, cobalt and molybdenum. Marcondes & Caires (2005) found that only the leaf iron and zinc contents reduced with the application of molybdenum and cobalt via seed treatment, respectively. Lavres, Franco & Câmara (2016) and Barcelos et al. (2017) verified that the treatment of seeds and foliar application with nickel in soybean, respectively, resulted in increased leaf nitrogen, iron, zinc and nickel contents.

Although the foliar contents of these nutrients were not significantly altered ( $p < 0.05$ ) with the application of nickel, cobalt and molybdenum, it was verified that for the absolute values there was an average increase of 5.5% in the contents of nitrogen in the leaf in R2, when the fertilization with nickel, cobalt and molybdenum was carried out in relation to the control, evidencing the action of these nutrients in the biological fixation of nitrogen and nitrogen supply by the plant, as also reported by Dourado Neto et al. (2012), Polacco et al. (2013) and Lavres, Franco & Câmara (2016).

Table 3. Nitrogen (N), potassium (K), phosphorus (P), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), copper (Cu), nickel (Ni) and molybdenum (Mo) contents in two soybean cultivars submitted to fertilizations with nickel, cobalt and molybdenum.

SV	N	K	P	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	Ni	Mo
	g kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>					
Cultivars <sup>1</sup>										
SYN 13610 IPRO	50.44a	28.47a	3.98a	2.53a	109.51a	52.22a	36.08a	7.39a	4.89a	2.07a
SYN 13671 IPRO	51.29a	27.56a	4.07a	2.47a	101.94a	50.56a	35.99a	6.86a	4.80a	2.16a
Treatments <sup>2</sup>										
C	48.86a	27.84b	3.76b	2.12b	105.83a	51.00a	28.58b	8.17a	5.05a	1.54a
ST	53.85a	26.45b	3.92b	2.68a	105.83a	53.33a	46.32a	6.17b	4.73a	2.56a
ST(Ni)1	51.19a	30.23a	4.57a	2.58a	106.67a	48.67a	35.61b	6.92b	4.68a	2.36a
ST(Ni)2	49.57a	27.53b	3.86b	2.62a	104.58a	52.54a	33.63b	7.25ab	4.92a	2.01a
CV (%)	6.24	5.17	8.24	7.12	11.01	15.67	21.65	12.41	11.96	43.75

Note. <sup>1</sup>Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the F test ( $p < 0.05$ ). <sup>2</sup>Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the LSD test ( $p < 0.05$ ). SV - Source of variation; CV - Coefficient of variation.

The highest levels of potassium and phosphorus were obtained for ST(Ni)1, indicating a possible beneficial relation with the use of nickel via ST and foliar application (Table 3). The results of the present study were similar to those reported for foliar magnesium content, with the use of seed treatment (ST) associated or not with foliar applications of nickel and for Mn only with ST, with absence of nickel applied via leaf (Table 3). However, for leaf copper content there was a reduction, which can be attributed to the competitive inhibition between these two cations, as highlighted by Gerendas et al. (1999), also related to the application of leaf Ni and lower Mn content.

The leaf contents in R2 for Fe, Zn, Ni and Mo did not show differences, even with the use of Ni via ST and via leaves in V4. It should be noted that the amounts of Ni in the leaf are small, with short ranges, which hinders the statistical indications (Table 3).

For treatments that received molybdenum via seed treatment, there was an average increase of 50% in the leaf content of this micronutrient when compared to the control treatment, evidencing its mobility in the xylem (Marschner, 2012). However, the high coefficient of variation for this variable hinders statistical inferences and differences (Table 3).

The leaf calcium contents of SYN 13610 IPRO reduced for ST(Ni)1 treatments (Table 4). However, for sulfur, the highest values were observed with ST and Ni foliar application. For the cultivar SYN 13671 IPRO, ST(Ni)1 and ST(Ni)2 increased leaf calcium contents; [ST(Ni)1], higher values of sulfur were observed, as was observed for SYN 13610 IPRO, for the ST associated or not with nickel application of 10 g ha<sup>-1</sup>. When studying the effect of foliar applications of nickel on soybean, Barcelos et al. (2017) did not find a significant effect of the doses of nickel on the foliar contents of calcium, but these authors found a linear increase for the sulfur contents.

For boron, it was found that the control (C), ST and ST(Ni) 1 treatments for the cultivar SYN 13610 IPRO and ST(Ni)1 for the cultivar SYN 13671 IPRO led to higher leaf boron contents. Similarly, Lavres, Franco & Câmara (2016) observed a linear increase for the leaf boron contents when the treatment of soybean seeds with nickel was carried out, whereas Barcelos et al. (2017) obtained an increase in boron levels up to the 40 g ha<sup>-1</sup> dose of nickel applied via soybean leaf.

Table 4. Leaf calcium (Ca), sulfur (S) and boron (B) contents in two cultivars of soybean submitted to fertilization with nickel, cobalt and molybdenum.

Treatments	Ca (g kg <sup>-1</sup> )		S (g kg <sup>-1</sup> )		B (mg kg <sup>-1</sup> )	
	SYN 13610	SYN 13671	SYN 13610	SYN 13671	SYN 13610	SYN 13671
C	7.53a	7.17b	1.58b	2.02bc	57.15a	53.92b
ST	7.92a	7.17b	1.85ab	2.46ab	53.25ab	54.85b
ST(Ni)1	7.19b	7.82a	1.99a	2.35a	55.29a	61.17a
ST(Ni)2	7.71ab	7.81a	1.98a	1.83c	50.53b	51.80b
CV (%)	3.86		10.99		4.14	

Note. Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the LSD test ( $p < 0.05$ ). CV - Coefficient of variation.

### 3.2 Agronomic characteristics and productivity

Fertilization with nickel, cobalt and molybdenum did not influence plant height, number of pod per plant, number of seeds per pod, retention of seeds on sieves and mass of one thousand seeds, whose average values were 77.0 cm; 31.2 pods per plant; 2.3 seeds per pod, 21.8% (7 mm), 68.2% (6.0 mm), 10.0% (5.00 mm) and 166.9 g, respectively. SYN 13610 IPRO plants showed higher height (83.7 cm) than SYN 13671 IPRO (70.4 cm).

For productivity, among the cultivars when there was a statistical difference, SYN 13671 had higher averages (Table 5). The cultivars responded differently with respect to productivity for micronutrient management, demonstrating a possible interaction between the genetic effect and the fertilization response with nickel, cobalt and molybdenum. Carvalho et al. (2015) found that the response of soybean cultivars to foliar application of manganese was influenced by the genotype.

For the cultivar SYN 13610, ST(Ni)1, ST(Mo)2 and the interaction of these treatments [ST(NiMo)2] resulted in higher yields (Table 5). This increased productivity of soybean seeds in this cultivar in response to the application of nickel, cobalt and molybdenum may be related to the increase in the nitrogen metabolism with the use of these micronutrients (Lavres, Franco & Câmara, 2016; Reis et al., 2017; Freitas et al, 2018), either by the increase in biological nitrogen fixation (Dourado Neto et al. 2012; Oliveira et al., 2017) or by the greater efficiency in the use of this nutrient in the plant (Kutman, Kutman & Cakmak, 2013; Kutman, Kutman & Cakmak, 2014). It is observed that, for SYN 13610 IPRO, the dose of 20 g ha<sup>-1</sup> of nickel applied via leaf, besides the amount of 1.8 g ha<sup>-1</sup> applied via seeds [ST(Ni)2] alone or in interaction with dose of 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum [ST(NiMo)3] significantly reduced seed yield (Table 5), indicating that the doses used of these micronutrients are relevant to the response.

For SYN 13671, treatment with 20 g ha<sup>-1</sup> of nickel applied via leaf, besides the amount of 1.8 g ha<sup>-1</sup> applied via seeds also caused a reduction, as observed for SYN 13610 (Table 5). With the cultivar SYN 13671, the highest yields were observed for the control treatments, ST(Ni)1, ST(Mo)1 and ST(NiMo)3.

In treating soybean seeds with nickel, Lavres, Franco & Câmara (2016) found that doses above 135 mg kg<sup>-1</sup> of seeds, equivalent to 7.5 g of nickel ha<sup>-1</sup>, promoted negative effects on growth and yield. In studies with nickel applied via soybean leaf, Barcelos et al. (2017) found that up to the 20 g kg<sup>-1</sup> dose there was an increase in productivity and activity of the urease enzyme, and from that dose there was reduction for both variables. The reduction of soybean productivity with increasing doses of nickel was also observed by Reis et al. (2017). In an

experiment carried out in nutrient solution, the authors showed that the plants exhibit symptoms of toxicity from  $0.1 \mu\text{mol L}^{-1}$  of nickel, and that there was an increase in the activity of the enzymes catalase, peroxidase and superoxide dismutase.

Table 5. Seed productivity of two soybean cultivars submitted to fertilization with nickel, cobalt and molybdenum.

Treatments <sup>1</sup>	SYN 13610	SYN 13671
C	3262bB	4114aA
ST	3339bB	3878bA
ST(Ni)1	3600aB	4012aA
ST(Ni)2	3032bB	3849bA
ST(Mo)1	3524bB	4103aA
ST(Mo)2	3616aA	3836bA
ST(NiMo)1	3227bB	3713bA
ST(NiMo)2	3577aA	3674bA
ST(NiMo)3	3206bB	4103aA
-----		
Contrasts <sup>2</sup>		
ST(Ni)	3316b	3930a
ST(Mo)	3570a	3969a
ST(Ni)	3316a	3930a
ST(NiMo)	3337a	3830a
ST(Mo)	3570a	3969a
ST(NiMo)	3337b	3830a
-----		
CV (%)	5,41	

Note. <sup>1</sup>Means followed by the same lowercase letter in the column and uppercase letter in the row did not differ statistically by the t-test ( $p < 0.05$ ) and by Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ), respectively. <sup>2</sup> Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the Scheffé test ( $p < 0.05$ ). CV - Coefficient of variation.

From the tested contrasts, it was verified that for the cultivar SYN 13610 IPRO the seed treatment in association with the application of molybdenum [ST(Mo)] made it possible to obtain productivity significantly higher than the treatments that received foliar application of nickel [ST(Ni)] or the combination of nickel and molybdenum [ST(NiMo)] (Table 5), but it is worth noting that the contrast with the nickel treatments involves all Ni treatments, including the Ni dose of  $20 \text{ g ha}^{-1}$ , which was harmful. For the cultivar SYN 13671 IPRO, according to the contrasts, no significant differences were detected between the clusters studied (Table 5).

### 3.3 Chemical composition of seeds

Among the genotypes, except for ash and Mo, which did not vary, SYN 13610 IPRO had higher oil, crude protein and nickel contents, but lower total carbohydrate content (Table 6). This cultivar showed a response to the use of Ni in relation to productivity (Table 5).

The applications of nickel, cobalt and molybdenum did not change the percentages of ash, oil, total carbohydrates and crude protein in soybean seeds, whose values were between 5.05 and 5.20%, 16.61 and 17.66%, 42.08 and 46.00% and between 31.53 and 35.50%, respectively (Table 6).

Table 6. Contents of ash (ASH), oil (OIL), total carbohydrate (CAR), protein (PRO), nitrogen (N), nickel (Ni) and molybdenum (Mo) in the seeds of two soybean cultivars submitted the fertilizations with nickel, cobalt and molybdenum.

SV	ASH	OIL	CAR	PRO	N	Ni	Mo
	----- % -----				g kg <sup>-1</sup>	---- mg kg <sup>-1</sup> ----	
Cultivars <sup>1</sup>							
SYN 13610 IPRO	5.08a	17.62a	41.50b	35.80a	57.28a	0.68a	4.79a
SYN 13671 IPRO	5.11a	16.60b	45.84a	32.45b	52.66b	0.53b	4.50a
Treatments <sup>2</sup>							
C	5.20a	16.80a	46.00a	32.00a	51.20b	0.75a	0.35d
ST	5.06a	17.64a	45.76a	31.53a	50.46b	0.67a	3.57c
ST(Ni)1	5.07a	17.36a	42.08a	35.50a	56.79a	0.49a	3.51c
ST(Ni)2	5.05a	16.61a	44.27a	34.07a	54.54a	0.58a	3.77c
ST(Mo)1	5.10a	17.09a	42.90a	34.91a	55.85a	0.62a	5.67b
ST(Mo)2	5.07a	17.18a	42.99a	34.76a	55.61a	0.63a	7.24a
ST(NiMo)1	5.05a	16.75a	42.86a	35.34a	56.54a	0.45a	5.44b
ST(NiMo)2	5.17a	16.90a	43.24a	34.69a	55.50a	0.61a	5.45b
ST(NiMo)3	5.08a	17.66a	42.96a	34.30a	58.21a	0.66a	6.80a
CV (%)	3.47	6.78	5.48	7.02	7.57	38.46	12.75

Note. <sup>1</sup>Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the F test ( $p < 0.05$ ). <sup>2</sup>Means followed by the same letter in the column did not differ statistically by the Scott-Knott test ( $p < 0.05$ ). CV - Coefficient of variation.

For absolute protein content, it was found that, when comparing the values obtained in the control treatment (C) and in the treatments containing nickel, cobalt and molybdenum, there was an average increase of 7.5% in the protein content (Table 6). Foliar application of Ni and Mo favored the accumulation of N in soybean seeds, in association with those also via ST, but with the single use of ST did not differ from the control (Table 7). In order to evaluate the efficiency of the biological nitrogen fixation process, it is necessary to evaluate the benefit of the fertilization with nickel, cobalt and molybdenum in the internal metabolism of this macronutrient in the plant (Polacco et al., 2013; Lavres, Franco & Câmara, 2016) and, consequently, the increase of nitrogen contents (Lavres, Franco & Câmara, 2016) and protein contents in seeds (Gelain et al., 2011; Oliveira et al., 2017).

As observed for foliar analyses, the levels of nickel in the seeds were not statistically altered, even when the micronutrient was applied through seed treatment and foliar applications (Table 6). It is observed that the contents of nickel were between 0.45 and 0.75 mg kg<sup>-1</sup>, which are within the range (0.28 to 14.26 mg kg<sup>-1</sup>) observed in soybean grains by Rodak et al. (2015). According to Malavolta (2006), nickel is mobile in the xylem and highly mobile through the phloem.

The application of nickel via seed treatment, via foliar applications or via soil, has resulted in higher levels of this micronutrient in soybean seeds, with remobilization during the senescence of up to 70% of the accumulated nickel in the aerial part to the seeds, in some cases (Table 1), which is the most important factor in the analysis of the results obtained in this study (Martins et al., 2004). However, it is worth mentioning that in the cited works the effect of nickel was evaluated separately, unlike that presented in the present research, in which the interaction of nickel, cobalt and molybdenum was explored.



In studies with foliar applications of nickel and molybdenum in common bean, Lopes et al. (2016) found that the doses of nickel (0 to 60 g ha<sup>-1</sup>) increased the micronutrient contents in the seeds, but at doses above 15 g ha<sup>-1</sup>, the molybdenum fertilization reduced the nickel content in the seeds. For Moraes et al. (2010), the omission of nickel in the nutrient solution increased the molybdenum content in roots (32.7%) and aerial part (6.7%) in rice plants. The omission of molybdenum increased by 55.1% the nickel content in the roots. The interference of molybdenum in the absorption of nickel by plants and remobilization of this element to the seeds should be considered; however, additional studies are required to investigate in detail the interaction between these micronutrients.

For the control treatment (C) the molybdenum content in soybean seeds was 0.35 mg kg<sup>-1</sup> (Table 6). This value is considered low for soybean seeds (Campo, Araujo & Hungria, 2009) and does not meet the minimum amounts (3.5 mg kg<sup>-1</sup> of seed) required by soybean plants (Jacob-Neto et al., 1997). However, it is verified that the application of molybdenum through seed treatment or in association with foliar applications allowed the enrichment of the soybean seeds with this micronutrient (Table 6).

Seed treatment (ST) with Ni, Co and Mo, associated or not with nickel application [ST(Ni)1] and [ST(Ni)2] increased the molybdenum contents by 934% in relation to the control treatment (Table 6), whose mean value of 3.62 mg kg<sup>-1</sup> exceeded the minimum value required for the growth and production of soybean plants (Jacob-Neto et al., 1997). The increase in the molybdenum contents in the seeds was accentuated when the treatment of seeds with foliar applications was carried out, especially with higher doses of Mo, reaching values of 5.67 mg kg<sup>-1</sup> (1520%) and 7.24 mg kg<sup>-1</sup> (1967%) with the application of 38.1 g Mo ha<sup>-1</sup> [ST(Mo)1] and 58.1 g Mo ha<sup>-1</sup> [ST(Mo)2], respectively.

Molybdenum is a highly mobile element in the phloem (Marschner, 2012), a property that enables the enrichment of seeds when it is supplied to the plants. When evaluating the effect of molybdenum foliar applications on soybean enrichment, Milani et al. (2010) found that the application of 40 and 60 g ha<sup>-1</sup> molybdenum in the R5.2 and R5.4 stages increased the nutrient contents in the seeds to approximately 7.1 and 8.0 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. In a similar way, Campo, Araujo & Hungria (2009), Possenti & Villela (2010) and Oliveira et al. (2017) also obtained soybean seeds enriched with molybdenum when they applied the micronutrient at the reproductive stages (R3 to R5).

It was observed that the foliar application of 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel associated with the doses of 20 [ST(NiMo)1] and 40 g ha<sup>-1</sup> [ST(NiMo)2] of molybdenum did not differ from the use of only Mo via foliar application ST(Mo)1 (Table 6). The highest accumulations of Mo in the seeds were observed in treatments with ST with Ni, Co and Mo and 40 g ha<sup>-1</sup> of only Mo through the leaves (ST (Mo) 2), not differing from the treatment with the addition of 20 g ha<sup>-1</sup> of Ni via leaf [ST(NiMo)3] (Table 6). The use of leaf Ni did not affect the accumulation of Mo in the seeds. Lotes et al. (2016) found that foliar application of molybdenum (80 g ha<sup>-1</sup>) increased the content of this micronutrient in bean seeds by 185%, regardless of the doses of nickel (0 to 60 g ha<sup>-1</sup>).

## Conclusion

The treatment of soybean seeds with nickel, cobalt and molybdenum associated or not with foliar application of nickel increases the foliar magnesium content and reduces the levels of copper and manganese.

The treatment of seeds associated with the application of 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel increases the foliar content of phosphorus, potassium, calcium, sulfur and boron.

The productivity response to fertilization with nickel, cobalt and molybdenum is affected by the genotype.

For the cultivar SYN 13610, the treatment of seeds with nickel, cobalt and molybdenum followed by foliar applications with or without 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel and 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum resulted in higher yields.

The supplemental treatment with nickel and molybdenum via foliar application favors the metabolism of N and consequently increases the levels of nitrogen in the seeds.

The application of molybdenum by treatment of seeds increases the content of this micronutrient in the seeds produced, an increase that is optimized with 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum via foliar application, regardless of the foliar application of nickel.

### Bibliographic references

- Ahmed, S., & Evans, H. J. (1961). The essentiality of cobalt for soybean plants grown under symbiotic conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 47(1), 24-36. <https://doi.org/10.1073/pnas.47.1.24>
- Barcelos, J. P. Q., Osório, C. R. W. S., Leal, A. J. F., Alves, C. Z., Santos, E. F., Reis, H. P. G., & Reis, A. R. (2017) Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. *Australian Journal of Crop Science*, 11(2), 184-192. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.02.p240>
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, 37(8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes* (p. 395). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS.
- Brown, P. H., Welch, R. M., & Cary, E. E. (1987). Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 85(3), 801-803. <https://doi.org/10.1104/pp.85.3.801>
- Campo, R. J., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2009). Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*, 110(3), 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.09.001>
- Carvalho, E. R., Oliveira, J. A., Costa Neto, J., Silva, C. A. T., & Ferreira, V. F. (2015). Doses e épocas de aplicação de manganês via foliar no cultivo de soja convencional e em derivada transgênica RR. *Bioscience Journal*, 31(2), 352-361. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22286>
- Cataldo, D.A., Garland, T.R., & Wildung, R.E. (1978). Nickel in plants II. Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiol*, 62(4), 566-570. <https://doi.org/10.1104/pp.62.4.566>
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) (2019). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.6 - Safra 2018/19, n.5 - Quinto levantamento*. (125 p). Brasília.
- Dourado Neto, D., Dario, G. J. A., Martin, T. N., Silva, M. R., Pavinato, P. S., & Habitzreiter, T. L. (2012). Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1), 2741-2752. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2741>
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (2011). *Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2014*. (226p). Londrina.

- Evans, H. J., Harker, A. R., Papen, H., Russell, S. A., Hanus, F. J., & Zuber, M. (1987). Physiology, biochemistry, and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. *Annual Review of Microbiology*, 41(1), 335-361. <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.41.100187.002003>
- Fabiano, C. C., Tezotto, T., Favarin, J. L., Polacco, J. C., & Mazzafera, P. (2015). Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses. *Frontiers in plant science*, 6(754), 1-4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00754>
- Fehr, W. R., Caviness, C. E., Burmood, D. T., & Pennington, J. S. (1971). Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Crop Science*, 11(6), 929-931. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x>
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(4), 278-286. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>
- Freitas, D. S., Rodak, B. W., Reis, A. R., Reis, F.B., Carvalho, T.S., Schulze, J., Carneiro, M. A. C., & Guilherme, L. R. G. (2018). Hidden nickel deficiency? nickel fertilization via soil improves nitrogen metabolism and grain yield in soybean genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 9(Art 614), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00614>
- França-Neto, J. B. (2016). Características fisiológicas da semente: germinação, vigor, viabilidade, danos mecânicos tetrazólio, deterioração por umidade tetrazólio e dano por percevejo tetrazólio. In: Lorini, I. (Eds.). *Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil - safra 2014/15*. (pp.31-47). Londrina.
- França-Neto, J. B., Krzyzanowski, F.C. Pádua, G. P., & Lorini, I. (2018). Características fisiológicas da semente: vigor, viabilidade, germinação, danos mecânicos tetrazólio, deterioração por umidade tetrazólio, dano por percevejo tetrazólio e sementes verdes. In: Lorini, I. (Eds.). *Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil - safra 2016/17*. (pp.31-59). Londrina.
- França-Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Henning, A. A., Pádua, G. P., Lorini, I., & Henning, F. A. (2016). *Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade*. (82 p.). Londrina.
- Gelain, E., Rosa Junior, E. J., Mercante, F. M., Fortes, D. G., Souza, F. R., & Rosa, Y. B. C. J. (2011). Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(2), 259-269. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000200005>
- Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K., & Sattelmacher, B. (1999). Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(3), 241-256. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2624\(199906\)162:3<241::AID-JPLN241>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2624(199906)162:3<241::AID-JPLN241>3.0.CO;2-Q)
- Hungria, M., & Mendes, I. C. (2015). Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? In: Bruijn, F.J. (Eds.). *Biological nitrogen fixation*. (pp.1009-1024). Hoboken.
- IAL (Instituto Adolfo Lutz) (1985). *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. (533 p.). São Paulo.
- Jacob-Neto, J., Taketa, S., Santos, A. V., & Franco, A. A. (1997). Soybean seed enrichment with molybdenum to supply the plant requirement. In: Emerich, C., Kondorosi, A., & Newton W. E. (Eds.). *Biological Nitrogen Fixation for the 21st Century*. (pp.630). Paris.
- Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. B., & Henning, A. A. (2018). *A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura*. (24 p.). Londrina.

- Kutman, B. Y., Kutman, U. B., & Cakmak, I. (2014). Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. *Plant and Soil*, 376(1-2), 261-276. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1983-7>
- Kutman, B. Y., Kutman, U. B., & Cakmak, I. (2013). Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. *Plant and Soil*, 363(1-2), 61-75. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1284-6>
- Küpper, H., & Kroneck, P. M. H. (2007). Nickel in the environment and its role in the metabolism of plants and cyanobacteria. In: Sigel, A., Sigel, H., & Sigel, R. K. O. (Eds.). *Metal Ions in Life Sciences*. (pp. 31.62). New York.
- Lavres, J., Franco, G. C., & Câmara, G. M. S. (2016). Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. *Frontiers in Environmental Science*, 4(37), 1-11. <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2016.00037>
- Lopes, J. F., Coelho, F.C., Rabello, W. S., Rangel, O. J. P., Gravina, G. A., & Vieira, H. D. (2016). Produtividade e composição mineral do feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. *Revista Ceres*, 63(3), 419-426. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663030020>
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. (pp.115-230). Piracicaba.
- Marcondes, J. A. P., & Caires, E. F. (2005). Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo de soja. *Bragantia*, 64(4), 687-694. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000400019>
- Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. (643p). London.
- Mendel, R. R., & Hänsch, R. (2002). Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53(375), 1689-1698. <https://doi.org/10.1080/07352689991309180>
- Milani, G. L., Oliveira, J. A., Pereira, E. M., Carvalho, B. O., Oliveira, G. E., & Costa, R. R. (2010). Aplicação foliar de molibdênio durante a maturação de sementes de soja. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(4), 810-816. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000400003>
- Miyazawa, M. (2009). Análise química de tecido vegetal. In: Silva, F. C. (Ed.) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. (pp.191-234). Brasília.
- Moraes, M. F., Reis, A. R., Moraes, L. A. C., Lavres-Junior, J., Vivian, R., Cabral, C. P., & Malavolta, E. (2009). Effects of molybdenum, nickel, and nitrogen sources on the mineral nutrition and growth of rice plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(21-22), 238-3251. <https://doi.org/10.1080/00103620903267590>
- Moraes, R. M. A., José, I. C., Ramos, F. G., Barros, E. G. D., & Moreira, M. A. (2006). Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(5), 725-729. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500002>
- Oliveira, C. O., Pinto, C. C., Garcia, A., Bettiol, J. V. T., Sá, M. E., & Lazarini, E. (2017). Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. *Revista Ceres*, 64(3), 282-290. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764030009>
- Oliveira, C. O., Lazarini, E., Tarsitano, M. A. A., Pinto, C. C., & Sá, M. E. (2015). Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. *Pesquisa*

*Agropecuário Tropical*, 45(1), 82-88.<http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4527961>

- Possenti, J. C., & Villela, F. A. (2010). Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(4), 143-150.<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000400016>
- Polacco, J. C., Mazzafera, P., & Tezotto, T. (2013). Opinion-nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. *Plant Science*, 199(nn), 79-90.<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.10.010>
- Pilon-Smits, E. A. H., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274.<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.009>
- Reis, A. R., Barcelos, J. P. Q., Osório, C. R. W. S., Santos, E. F., Lisboa, L. A. M., Santini, J. M. K., Santos, M. J. D., Furlani, E., Campos, M., Figueiredo, P. A. M., Lavres, J., & Gratão, P. L. (2017). A glimpse into the physiological, biochemical and nutritional status of soybean plants under Ni-stress conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 144(nn), 76-87.<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.006>
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Thomson, H.E., & Benson, G.O. (1985). *How a soybean plant develops*. (20p.). Ames.
- Rodak, R. W., Moraes, M. F., Pascoalino, J. A. L., Oliveira Junior, A., Castro, C., & Pauletti, V. (2015). Methods to quantify nickel in soils and plant tissues. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 39(3), 788-793.<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140542>
- Rossi, R. F., Cavariani, C., & França-Neto, J. B. (2018). Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. *Revista de Ciências Agrárias*, 60(3), 215-222.<http://dx.doi.org/10.4322/rca.2239>
- Santos, S. F., Carvalho, E. R., Rocha, D. K., & Nascimento, R. M. (2018). Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. *Journal of Seed Science*, 40(1), 67-74.<http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n1185370>
- Scheeren, B. R., Peske, S. T., Schuch, L. O. B., & Barros, A. C. A. (2010). Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(3), 35-41.<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v32n3/v32n3a04.pdf>
- Sfredo, G. J., & Oliveira, M. C. N. (2010). *Soja: Molibdênio e cobalto*. (36 p.). Londrina.

**ARTIGO 2 - PRODUTIVIDADE E ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA  
COM APLICAÇÃO DE NÍQUEL E MOLIBDÊNIO<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> Artigo formatado conforme as normas da Australian Journal of Crop Science

## Produtividade e enriquecimento de sementes de soja com aplicação de níquel e molibdênio

Hellismar Wakson da Silva; Rafael Aparecida de Carvalho; Lucinda Helena Fragoso Monfort; Juliana Maria Espindola Lima; Giovana Murari Moraes; Gleice Aparecida da Silva Lima; João Almir Oliveira; Everson Reis Carvalho

**RESUMO** - O níquel, o cobalto e o molibdênio são elementos indispensáveis à fixação biológica de metabolismo de nitrogênio na cultura da soja. Devido a este fato, por estes nutrientes serem requeridos em pequenas quantidades, o enriquecimento de sementes torna-se uma alternativa promissora para o fornecimento destes elementos à cultura da soja. Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a resposta tanto em produtividade como em composição química de sementes de soja com a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes e aplicação foliar. O experimento foi conduzido com delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois tratamentos de sementes (com e sem aplicação de níquel, cobalto e molibdênio) e quatro aplicações foliares (controle sem aplicação; 10 g de Ni ha<sup>-1</sup>; 40 g de Mo ha<sup>-1</sup>; 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> + 40 g de Mo ha<sup>-1</sup>). Foram avaliados teores de macro e micronutrientes foliares, características agronômicas, retenção de sementes em peneiras e composição química de duas cultivares. O teor foliar de molibdênio aumenta nas duas cultivares com o tratamento de sementes contendo Ni, Co e Mo, porém, reduz com aplicação foliar de níquel na cultivar TMG 7062. As aplicações isoladas ou associadas de níquel no estágio V6 e molibdênio em R5.1 aumentam a produtividade de sementes da TMG 7062 e o teor de carboidratos totais nas sementes da cultivar M 6410. Para a cultivar TMG 7062 o tratamento de sementes com Ni, Co e Mo aumenta a retenção de sementes na peneira 7,0 mm. Ambas cultivares estudadas respondem de maneira semelhante ao enriquecimento das sementes com molibdênio, cujos maiores teores são obtidos com a aplicação de Ni, Co e Mo no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de 40 g de Mo ha<sup>-1</sup> no estágio R5.1, associada ou não com a aplicação de 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> no estágio V6.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, Micronutrientes, Tratamento de sementes, Aplicação foliar.

**ABSTRACT** - Nickel, cobalt and molybdenum are essential elements for the biological fixation of nitrogen metabolism in soybean culture. Because these nutrients are required in small quantities, seed enrichment becomes a promising alternative for supplying these elements to soybean culture. The objective of this work was to evaluate the response both in productivity and in nutritional quality of soybean seeds with the application of nickel and molybdenum via seed treatment and foliar application. The experiment was conducted with a randomized block design in a 2 x 4 factorial scheme, with two seed treatments (with and without nickel, cobalt and molybdenum) and four leaf applications (control without application; 10 g of Ni ha<sup>-1</sup>; 40 g Mo ha<sup>-1</sup>; 10 g Ni ha<sup>-1</sup> and 40 g Mo ha<sup>-1</sup>). Leaf macro and micronutrient contents, agronomic characteristics, seed retention in sieves and chemical composition of the seeds were evaluated. It was concluded that the foliar content of molybdenum increases in both cultivars with the treatment of seeds containing Ni, Co and Mo, but reduces with foliar application of nickel in TMG 7062. Isolated or associated applications of nickel in stage V6 and molybdenum in R5.1 increase the seed yield of TMG 7062 and the total carbohydrate content in the seeds of M 6410. For cultivar TMG 7062, seed treatment with Ni, Co and Mo increases seed retention in the 7.0 mm sieve. Both studied cultivars respond in a similar way to enriching the seeds with molybdenum, whose highest levels are obtained with the application of Ni, Co and Mo in the treatment of seeds followed

by the foliar application of 40 g of Mo ha<sup>-1</sup> at the R5.1 stage, associated or not with the application of 10 g of Ni ha<sup>-1</sup> in the V6 stage.

**Key Words:** *Glycine max* (L.) Merrill, Micronutrients, Seed treatment, Foliar application.

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura mais importante no agronegócio brasileiro (Conab, 2020). Esta oleaginosa constitui uma importante fonte de proteína para alimentação animal e humana, bem como, tem sido utilizada como matéria-prima para fabricação de biocombustíveis (Hungria & Mendes, 2015). Em função da importância da cultura e, ao mesmo tempo, diante da baixa produtividade da soja no Brasil, muitos esforços tem sido direcionados pela pesquisa para se obter maiores rendimentos, o que consequentemente exige o melhor entendimento das demandas nutricionais pela cultura (Levy et al., 2019).

Os elevados teores de proteína nas sementes de soja (33 a 42%) fazem do nitrogênio o nutriente mais exigido em quantidade pela cultura (Oliveira et al., 2018), sendo que o suprimento deste nutriente é realizado em grande parte pela fixação biológica de nitrogênio (Hungria & Mendes, 2015). Sabe-se que a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) exerce influência direta sobre a produtividade (Lavres et al., 2016) e o teor de proteína em soja (Gelain et al., 2011), bem como, o teor de proteína é um indicativo da qualidade fisiológica de sementes de soja (Mathias et al., 2019). Portanto, maximizar a eficiência do processo de FBN e o metabolismo de nitrogênio nas plantas torna-se essencial para elevar a produtividade da cultura da soja e a obtenção de sementes de elevada qualidade.

A eficiência da fixação biológica de nitrogênio é afetada por diversos fatores (Campo, Araujo & Hungria, 2009), dentre os quais, a adequada nutrição mineral de plantas, especialmente com níquel, cobalto e molibdênio, tem recebido atenção especial (Dourado Neto et al., 2012; Lavres, Franco & Câmara, 2016; Cortese et al., 2019), haja vista que estes nutrientes fazem parte de enzimas ou são co-fatores essenciais para o processo de FBN e metabolismo de nitrogênio na planta de soja (Ahmed & Evans, 1961; Evans et al., 1987; Mendel & Hänsch, 2002). Entretanto, mesmo diante da importância da adequada nutrição de plantas para a FBN e outros processos fisiológicos, dos benefícios da nutrição associando níquel, cobalto e molibdênio sobre a produtividade e qualidade de sementes de soja ainda é pouco compreendida, bem como, discutida por órgãos de pesquisa e empresas do segmento sementeiro.

A exigência nutricional da soja para níquel (7,5 a 20 g ha<sup>-1</sup>), cobalto (2 a 3 g ha<sup>-1</sup>) e molibdênio (12 a 25 g ha<sup>-1</sup>) é relativamente baixa quando comparada com outros nutrientes (Sfredo & Oliveira, 2010; Barcelos et al., 2017; Lavres, Franco & Câmara, 2016). Por este motivo, e outros relacionados à praticidade operacional e eficiência, estes nutrientes são preferencialmente aplicados no tratamento de sementes de soja (Dourado Neto et al., 2012; Lavres, Franco & Câmara, 2016) e/ou aplicações foliares (Barcelos et al., 2017; Cortese et al., 2019). Outra forma viável e eficaz de fornecer níquel e molibdênio às plantas é o uso de sementes enriquecidas (Kutman, Kutman & Cakmak, 2014; Oliveira et al., 2015; Cortese et al., 2019), as quais podem fornecer quantidades satisfatórias destes nutrientes para o desenvolvimento da cultura da soja (Campo, Araujo & Hungria, 2009).

O enriquecimento de sementes constitui-se na aplicação de micronutrientes durante o desenvolvimento da cultura com o objetivo de aumentar os teores dos nutrientes aplicados nas sementes e, também, aumentar a produtividade e qualidade das sementes produzidas (Milani et al., 2010; Barcelos et al., 2017; Oliveira et al., 2017). Vale ressaltar, que o enriquecimento de sementes de soja com níquel e molibdênio torna-se possível graças a alta mobilidade destes nutrientes no floema (Malavolta, 2006; Marschner, 2012).

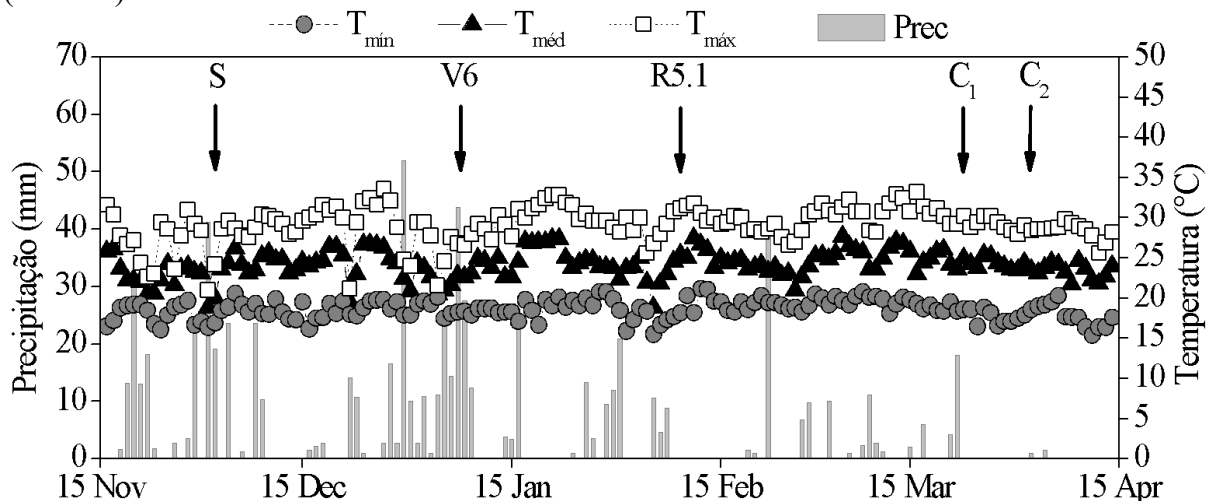


Apesar da reconhecida importância da nutrição com níquel, cobalto e molibdênio na cultura da soja, a associação e interação destes elementos no aumento de produtividade e qualidade de sementes de soja ainda é pouco compreendida. Portanto, objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho da cultura, a produtividade, bem como a composição química das sementes produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio em duas cultivares de soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras, localizado no município de Lavras - MG, à latitude de 21°12' S, longitude 44°58' W e altitude de 955 m. Os dados climáticos durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1.** Valores de temperatura máxima, média e mínima e de precipitação durante o período experimental. Lavras, MG, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



S - Semeadura; V6 - plantas com quatro trifólios completamente expandidos (Fehr et al., 1971); R5.1 - vagens com 10% de granação em um dos quatro nós superiores na haste principal (Ritchie et al., 1985); C1 e C2 - Colheita das cultivares TMG 7062 IPRO e M 6410 IPRO, respectivamente.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico, de textura argilosa (Argila: 54 dag kg<sup>-1</sup>; Silte: 12 dag kg<sup>-1</sup>; Areia: 34 dag kg<sup>-1</sup>) e com as seguintes características químicas (0,0-0,20 m): pH em CaCl<sub>2</sub> = 5,8; M.O. = 2,67 dag kg<sup>-1</sup>; em mg dm<sup>-3</sup>: P= 29,58; K= 109,03; Zn= 5,40; Mn= 9,64; Cu= 0,56; B= 0,07; Fe= 50,68; S= 1,95; Mo= 0,6; Ni= <0,15; e em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>: Ca= 2,77; Mg= 0,73; Al= 0,05; H+Al= 2,90; SB= 3,78; CTC= 6,68 e V= 56,58%.

As sementes das cultivares M 6410 IPRO e TMG 7062 IPRO foram semeadas manualmente, em sistema de semeadura direta, no dia 02 de dezembro de 2017. Inicialmente, as sementes foram tratadas com fungicida e inseticida (Pyraclostrobin + Thiophanate methyl + Fipronil), na dose de 200 mL p.c./100 kg de sementes, e inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 5019) e *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079) na dose de 100 mL/50 kg de sementes do produto comercial, obtendo 1,4 x 10<sup>6</sup> de bactérias por sementes. Para garantir a população de plantas por hectare foram semeadas 24 e 34 sementes para as cultivares M 6410 IPRO e TMG 7062 IPRO, com posterior desbaste aos 30 dias após a semeadura, mantendo 200 e 280 mil plantas por hectare ou 12 e 17 plantas por metro linear, respectivamente. A abertura dos sulcos no solo foi realizada mecanicamente e a adubação de plantio com 250 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante comercial misto (N: 7%; P: 30%; Mg: 9%; S: 12,6%; B: 0,15%; Cu:

0,15%; Mn: 0,45%; Zn: 0,45%), 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (K: 58%) e 20 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante comercial a base de ureia (B: 10%).

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 (tratamento de sementes x aplicações foliares), com quatro repetições (blocos) e em duas cultivares (TMG 7062 e M 6410). As parcelas foram constituídas por 4 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,6 m entre si, totalizando 12 m<sup>2</sup>. As duas linhas laterais e 0,5 m em cada extremidade foram consideradas como bordadura.

O tratamento de sementes constituiu-se da aplicação, ou não, de um fertilizante mineral misto (12,0 g L<sup>-1</sup> de Ni, 6,0 g L<sup>-1</sup> de Co e 120,6 g L<sup>-1</sup> de Mo) na dose de 150 mL ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 2,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel, 1,0 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e 19,6 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio. As aplicações foliares foram constituídas dos seguintes tratamentos: 1) sem aplicação; 2) 10 g de Ni ha<sup>-1</sup>; 3) 40 g de Mo ha<sup>-1</sup>; 4) 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> e 40 g de Mo ha<sup>-1</sup>. As aplicações foliares com Ni (quelato de níquel - 13% de Ni) e Mo (molibdato de sódio - 42% de Mo) foram realizadas nos estádios V6 (Fehr et al., 1971) e R5.1 (Ritchie et al., 1985), respectivamente, utilizando um pulverizador costal de pressão constante por CO<sub>2</sub> equipado com pontas do tipo jato em leque com volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Durante o desenvolvimento do experimento foram avaliadas as seguintes características nas plantas da parcela útil:

*Diagnose foliar:* ao atingirem os estádios estádio R2 (Fehr et al., 1971), coletou-se aleatoriamente o terceiro trifólio com pecíolo a partir do ápice em 20 plantas por parcela. As análises foram realizadas conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

*Características agronômicas e estande final:* quando as plantas atingiram o estádio R8 (Fehr et al., 1971), 10 plantas foram coletadas aleatoriamente para avaliar a altura de inserção da primeira vagem e de planta, comprimento do maior ramo, diâmetro do colo, número de ramificações, de vagens por planta e de sementes por vagem. Para determinação do estande final no estádio R8, realizou-se a contagem do número de plantas, em 4 m lineares, em uma das linhas de plantio.

*Massa de mil sementes e produtividade:* após a colheita das plantas no estádio R8 e debulha manual das sementes, foi determinado a massa de mil sementes em balança analítica (0,01 g) (Brasil, 2009) e produtividade (kg ha<sup>-1</sup>). Em ambas determinações o teor de água foi corrigido para 13%, sendo este determinado em aparelho digital DICKEYJohn modelo GAC<sup>®</sup> 2100.

*Retenção de sementes em peneiras:* uma amostra de 500 g de cada parcela foi distribuída sobre um conjunto de peneiras de 5,0 a 7,5 mm, com intervalo de 0,5 mm, em seguida a quantidade obtida em cada peneira foi pesada e o valor convertido para porcentagem de retenção de sementes em cada peneira.

*Composição química das sementes:* após a colheita e beneficiamento, as sementes foram homogeneizadas e então retiradas uma amostra de 100 g de cada parcela para determinação da composição química das sementes. Para determinação do teor de óleo, os lipídeos totais foram extraídos segundo técnica descrita por Bligh & Dyer (1959). O teor de proteína bruta foi obtido a partir do teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se o fator 6,25 (Miyazawa et al., 2009). O conteúdo de cinzas foi determinado por meio da calcinação das amostras a 550 °C, conforme o método descrito nas normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985). O teor de carboidratos totais foi obtido pela diferença percentual do teor de óleo (%OLE), proteínas (%PTN) e cinzas (%CNZ), conforme mostrado a seguir: %CHO = 100 - (%OLE + %PTN + %CNZ) (Moraes et al., 2006). Os teores de níquel e molibdênio foram determinados conforme os procedimentos descritos por Miyazawa et al. (2009). As análises foram realizadas no Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal.

Os dados foram submetidos a análise de variância (F < 0,05) separadamente para cada cultivar utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011). Devido a diagnose foliar ter sido

avaliada antes da aplicação do molibdênio no R5.1, a análise estatística para todos os elementos minerais foi realizada seguindo o fatorial 2 x 2 (com e sem tratamento de sementes x com e sem aplicação foliar com níquel). Para as demais variáveis estudadas utilizou-se o esquema fatorial 2 x 4 (com e sem tratamento de sementes x aplicações foliares). As médias do fator “Tratamento de sementes” foram comparadas pelo teste F ( $p < 0,05$ ); já as médias do fator “Aplicações foliares” foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento de sementes com níquel, cobalto e molibdênio e a aplicação foliar com níquel não promoveram alterações ( $p < 0,05$ ) nos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, níquel e zinco nas duas cultivares de soja estudadas (Tabela 1). As alterações nos teores foliares de nutrientes na cultura da soja em resposta a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio é muito variável e em muitos casos nula (Marcondes & Caires, 2005; Gelain et al., 2011; Lavres et al., 2016; Barcelos et al., 2017). Contudo, as doses de níquel, cobalto e molibdênio (2,0 ou 10,0; 1,0 e 19,6 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente) avaliadas no presente estudos podem não ter sido suficientes para promover alterações significativas nos nutrientes mencionados anteriormente, frente as quantidades exigidas pela cultura.

Tabela 1. Teor foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) em duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio.

Cultivares	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni*	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
M 6410 IPRO	45,2	14,6	1,9	9,1	3,2	2,6	29,7	8,7	76,3	31,5	<0,15	29,0
TMG 7062 IPRO	45,1	15,1	2,0	8,8	3,1	2,7	28,6	9,1	79,3	34,2	<0,15	29,0

\* - Valor do limite de detecção.

Da mesma maneira que ocorreu para os teores de níquel no solo, os teores foliares de níquel ficaram abaixo do limite de detecção (0,15 mg kg<sup>-1</sup>; Tabela 1). Ao realizar um levantamento dos teores de níquel solos tropicais e em folhas de soja no Brasil, Rodak et al. (2015) obtiveram teores de níquel no solo e na folha na faixa de <0,07 a 3,23 mg kg<sup>-1</sup> e 0,08 a 3,02 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes resultados evidenciam a dificuldade na detecção e a variabilidade deste micronutriente no solo e nas folhas de soja, coincidindo com os apresentados no estudo em questão.

Os teores foliares de molibdênio variaram de 0,60 a 2,06 mg kg<sup>-1</sup> e 0,96 a 1,95 mg kg<sup>-1</sup> para as cultivares M 6410 e TMG 7062 (Tabela 2). De acordo com Malavolta et al. (1997) a faixa de suficiência para teores foliares de molibdênio é de 1,0 a 5,0 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto, constata-se que a aplicação de 19,6 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio via semente (T2) elevou os teores foliares deste micronutriente para a faixa de suficiência para as duas cultivares, com incremento de 243% para a M 6410 e 103% para a TMG 7062. Em detrimento, a aplicação foliar com 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel (T4) reduziu 30% os teores foliares de molibdênio na TMG 7062, fato este não observado para a M 6410.

Tabela 2. Teor foliar de molibdênio em duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicações foliares (AF).

Tratamentos	Ni + Co + Mo (g ha <sup>-1</sup> )	Molibdênio (mg kg <sup>-1</sup> )	
		M 6410 IPRO	TMG 7062 IPRO
T1 (CT)	0 + 0 + 0	0,60b	0,96b
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	2,06a	1,95a
T3 (CT)	0 + 0 + 0	1,35a	1,71a
T4 (AF)	10 + 0 + 0	1,31a	1,19b
CV (%)	-	39,62	24,56

Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada modalidade de aplicação não diferem estatisticamente pelo teste F ( $p < 0,05$ ). CT - Controle (Sem tratamento de sementes ou sem aplicação foliar).

Os incrementos nos teores de molibdênio foliar em soja demonstram que ao ser aplicado via semente este micronutriente foi absorvido pelas raízes e transportado para as folhas, evidenciando sua mobilidade no xilema (Marschner, 2012). Resultados semelhantes foram observados para soja (Gelain et al., 2011) e feijão (Lopes et al., 2016).

A aplicação de níquel, cobalto e molibdênio no tratamento de sementes e níquel e molibdênio via aplicação foliar não promoveram diferenças ( $p < 0,05$ ) no número de vagens por planta, número de sementes por vagem e altura de planta para as duas cultivares estudadas (Tabela 3).

Tabela 3. Número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), altura de planta (AP) e produtividade (PROD) em duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicações foliares (AF).

Tratamentos	Ni + Co + Mo g ha <sup>-1</sup>	NVP	NSV	AP	PROD
		un	Um	cm	kg ha <sup>-1</sup>
----- M 6410 IPRO -----					
T1 (CT)	0 + 0 + 0	50,79	2,45	69,58	3305
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	47,82	2,43	67,23	3059
T3 (CT)	0 + 0 + 0	52,98	2,46	69,22	3085
T4 (AF)	10 + 0 + 0	48,89	2,42	67,34	3204
T5 (AF)	0 + 0 + 40	45,91	2,45	66,23	3012
T6 (AF)	10 + 0 + 40	49,45	2,43	70,83	3427
CV (%)	-	14,06	2,66	7,91	19,39
----- TMG 7062 IPRO -----					
T1 (CT)	0 + 0 + 0	31,18	2,33	71,37	2980
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	30,99	2,31	71,48	2991
T3 (CT)	0 + 0 + 0	29,35	2,30	71,75	2680 b
T4 (AF)	10 + 0 + 0	30,91	2,32	71,55	2980 ab
T5 (AF)	0 + 0 + 40	31,76	2,34	69,16	3047 ab
T6 (AF)	10 + 0 + 40	32,30	2,33	73,25	3236 a
CV (%)	-	15,26	3,59	10,40	12,43

Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada modalidade de aplicação e para cada cultivar não diferem estatisticamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ). CT - Controle (Sem tratamento de sementes ou sem aplicação foliar).

Para a produtividade de sementes de soja (Tabela 3), constata-se que as cultivares responderam de maneira distinta, demonstrando uma possível relação entre a resposta aos micronutrientes condicionada pelo fator genético (Carvalho et al., 2015). Verifica-se que apenas para a TMG 7062 houve incrementos significativos em produtividade com a aplicação foliar de 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel (T4), 40 g ha<sup>-1</sup> molibdênio (T5) e 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel com 40 g ha<sup>-1</sup> molibdênio (T6), sendo que, ao comparar com o tratamento controle (T3), sem a aplicação foliar, o uso da combinação via folha entre níquel e molibdênio (T6) resultou no aumento de 556 kg ha<sup>-1</sup> em produtividade.

Os incrementos em produtividade de soja com a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes ou aplicação foliar são bem documentados na literatura (Dourado Neto et al. 2012; Kutman, Kutman & Cakmak, 2013; Kutman, Kutman & Cakmak, 2014; Lavres, Franco & Câmara, 2016; Oliveira et al., 2017). Porém, analisando o efeito isolado de cada nutriente, estes incrementos de produtividade de soja com a aplicação de níquel e molibdênio podem ser justificados pela maior atividade fotossintética, eficiência no processo de fixação biológica de nitrogênio e metabolismo de nitrogênio na planta, eventos bioquímicos mensurados pelo maior teor de clorofila e taxa fotossintética nas folhas e maior atividade das enzimas hidrogenase e nitrogenase nos nódulos e urease nas folhas (Almeida et al., 2013; Lavres, Franco & Câmara, 2016; Freitas et al., 2019; Madja et al., 2019).

O tamanho das sementes de soja avaliado pela porcentagem de retenção em peneiras mostrou-se pouco influenciado pela aplicação de níquel, cobalto e molibdênio em ambas cultivares estudadas (Tabela 4). Entretanto, constata-se que para a cultivar TMG 7062 o tratamento de sementes com 2,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel, 1,0 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e 19,6 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio (T2) resultou em maior retenção de sementes na peneira 7,0 mm (13,41%) quando comparado com o tratamento controle (T1; 10,40%).

Tabela 4. Retenção de sementes em peneira (7,5; 7,0; 6,5; 6,0; 5,5 e 5,0 mm) em duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicações foliares (AF).

Tratamentos	Ni + Co + Mo g ha <sup>-1</sup>	Retenção de sementes em peneiras (%)					
		7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
----- M 6410 IPRO -----							
T1 (CT)	0 + 0 + 0	-	-	34,88	39,24	17,42	8,46
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	-	-	33,93	37,96	19,18	8,94
T3 (CT)	0 + 0 + 0	-	-	30,83	37,78	21,39	10,01
T4 (AF)	10 + 0 + 0	-	-	33,70	39,06	18,50	8,73
T5 (AF)	0 + 0 + 40	-	-	36,33	37,91	17,17	8,59
T6 (AF)	10 + 0 + 40	-	-	36,76	39,65	16,12	7,47
CV (%)	-	-	-	29,30	11,06	41,44	29,39
----- TMG 7062 IPRO -----							
T1 (CT)	0 + 0 + 0	4,39	10,40 b	57,59	17,61	10,01	-
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	5,86	13,41 a	56,73	15,02	8,98	-
T3 (CT)	0 + 0 + 0	3,88	10,47	56,24	18,51	10,89	-
T4 (AF)	10 + 0 + 0	4,61	12,14	55,42	17,63	10,19	-
T5 (AF)	0 + 0 + 40	6,07	12,57	57,72	14,86	8,78	-
T6 (AF)	10 + 0 + 40	5,94	12,45	59,26	14,25	8,10	-
CV (%)	-	43,20	32,00	5,79	23,40	22,42	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada modalidade de aplicação e para cada cultivar não diferem estatisticamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ). CT - Controle (Sem tratamento de sementes ou sem aplicação foliar).

Em campos de produção de sementes de soja a classificação em peneira possibilita estimar a produtividade de sementes com tamanho que atendem os padrões para comercialização (Mathias & Coelho, 2018). A literatura atual dispõe de poucas informações sobre a classificação de sementes em peneiras, entretanto sabe-se que o tamanho de sementes é determinado pelo genótipo, porém as condições climáticas prevaletentes durante o desenvolvimento podem exercer influência sobre o tamanho das sementes (Mattioni et al, 2011). Contudo, a maior retenção de sementes na peneira 7,0 mm observada com a nutrição com níquel, cobalto e molibdênio (T1; Tabela 4) fornece indícios que a nutrição mineral de plantas também pode exercer influência sobre o tamanho das sementes de soja.

A porcentagem de cinza (CZ), óleo (OLE), teor de proteínas (PTN), nitrogênio (N) e níquel (Ni) nas sementes de ambas cultivares não foram influenciadas pela nutrição com níquel, cobalto e molibdênio (Tabela 5). Entretanto, constata-se que o teor de carboidratos totais (CHO) nas sementes da cultivar M 6410 aumentou significativamente com a aplicação foliar de 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio.

Tabela 5. Cinza (CZ), teor de óleo (OLE), carboidratos totais (CHO), teor de proteína bruta (PTN), teores de nitrogênio (N) e níquel (Ni) em sementes de duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicações foliares (AF).

Tratamentos	Ni + Co + Mo	CZ	OLE	CHO	PTN	N	Ni
	g ha <sup>-1</sup>	----- % -----			g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	
----- M 6410 IPRO -----							
T1 (CT)	0 + 0 + 0	9,82	17,13	16,34	31,04	49,66	0,95
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	9,88	17,24	16,29	31,44	50,31	0,90
T3 (CT)	0 + 0 + 0	9,85	17,01	15,99 b	31,26	50,01	0,98
T4 (AF)	10 + 0 + 0	9,85	16,92	16,38 ab	31,32	50,11	0,99
T5 (AF)	0 + 0 + 40	9,86	17,36	16,53 a	31,15	49,84	0,85
T6 (AF)	10 + 0 + 40	9,83	17,44	16,36 ab	31,23	49,97	0,89
CV (%)	-	1,39	3,20	2,11	2,81	2,82	35,33
----- TMG 7062 IPRO -----							
T1 (CT)	0 + 0 + 0	9,47	17,61	16,52	31,16	49,86	0,93
T2 (TS)	2,0 + 1,0 + 19,6	9,31	17,66	16,46	31,19	49,91	0,91
T3 (CT)	0 + 0 + 0	9,48	17,60	16,61	31,19	49,91	0,81
T4 (AF)	10 + 0 + 0	9,32	17,68	16,31	31,07	49,72	0,90
T5 (AF)	0 + 0 + 40	9,40	17,78	16,42	31,35	50,16	1,00
T6 (AF)	10 + 0 + 40	9,38	17,49	16,62	31,10	49,76	0,98
CV (%)	-	2,72	4,70	3,76	2,32	2,32	31,26

Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada modalidade de aplicação e para cada cultivar não diferem estatisticamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ). CT - Controle (Sem tratamento de sementes ou sem aplicação foliar).

O níquel é considerado um nutriente móvel no xilema e no floema (Malavolta, 2006). Estudos conduzidos com soja demonstraram que a aplicação de níquel resultou no incremento deste nutriente nas sementes, com remobilização de até 70% do níquel acumulado na parte aérea para as sementes (Cataldo, Garland & Wildung, 1978; Rodak et al., 2015; Lavres, Franco & Câmara, 2016, Barcelos et al., 2017; Freitas et al., 2018). Contudo, verifica-se que mesmo após a aplicação de níquel via tratamento de sementes ou via foliar os teores deste micronutriente nas sementes não foram alterados ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5), fato já esperado, haja visto que os teores foliares de níquel ficaram abaixo do nível de detecção (Tabela 1).

Os teores de molibdênio nas sementes aumentaram ( $p < 0,05$ ) de maneira semelhante nas duas cultivares de soja, independentemente do método de aplicação (Tabela 6). Os incrementos médios nos teores de molibdênio nas sementes de soja das cultivares M 6410 e TMG 7062 foram de 260% e 253% com o tratamento de sementes e de 139% e 126% com o tratamento de sementes associado com a aplicação foliar de 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio. Contudo, constata-se que os maiores teores de molibdênio para a cultivar M 6410 (9,48 e 8,80 mg kg<sup>-1</sup>) e TMG 7062 (9,10 e 9,05 mg kg<sup>-1</sup>) foram obtidos com o tratamento de sementes com 2,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel, 1,0 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e 19,6 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio e aplicação foliar de 40,0 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio, associada ou não com a aplicação de 10,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel. O que sustenta a possibilidade de enriquecimento de sementes de soja com esse micronutriente.

Tabela 6. Teor de molibdênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em sementes de duas cultivares de soja (M 6410 IPRO; TMG 7062 IPRO) submetidas a aplicação de níquel e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicações foliares (AF).

Aplicação foliar (Ni + Co + Mo $\text{g ha}^{-1}$ )	Tratamento de sementes (Ni + Co + Mo $\text{g ha}^{-1}$ )			
	0 + 0 + 0	2,0 + 1,0 + 19,6	0 + 0 + 0	2,0 + 1,0 + 19,6
	----- M 6410 IPRO -----		----- TMG 7062 IPRO -----	
0 + 0 + 0	1,15 bB	4,93 bA	1,28 bB	4,30 bA
10 + 0 + 0	1,43 bB	4,35 bA	1,10 bB	4,10 bA
0 + 0 + 40	6,65 aB	9,48 aA	7,65 aB	9,10 aA
10 + 0 + 40	7,23 aB	8,80 aA	7,28 aB	9,05 aA
CV (%)	7,56		10,54	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ).

A alta mobilidade do molibdênio no floema (Marschner, 2012) e manejo nutricional com a aplicação deste micronutriente tem proporcionado respostas positivas em produtividade e teor de molibdênio em sementes de soja (Campo, Araujo & Hungria, 2009; Milani et al., 2010; Cortese et al., 2019). Estudos iniciais realizados por Campo, Araujo & Hungria (2009) demonstraram que o uso de sementes enriquecidas ( $13,3 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) com molibdênio resultou em aumento de produtividade na ordem de 56% quando comparada com sementes cujo teor de molibdênio era de  $0,73 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Milani et al. (2010) constataram que a aplicação de  $40 \text{ g ha}^{-1}$  de molibdênio nos estágios R5.2 e R5.4 proporcionou teor de molibdênio nas sementes de  $7,1 \text{ mg kg}^{-1}$ , correspondendo a 33% maior do que o tratamento controle (sem molibdênio). O enriquecimento de sementes com molibdênio com a aplicação foliar deste micronutriente em estádios reprodutivos também foi observado por Possenti & Vilela (2010) e Oliveira et al. (2017).

## CONCLUSÕES

O teor foliar de molibdênio aumenta nas duas cultivares estudadas com o tratamento de sementes contendo Ni, Co e Mo, porém, reduz com a aplicação foliar de níquel na cultivar TMG 7062.

As aplicações associadas de níquel no estágio V6 e molibdênio em R5.1 aumentam a produtividade de sementes da cultivar TMG 7062.

A aplicação de molibdênio foliar eleva o teor de carboidratos totais nas sementes de soja, cultivar M 6410.

Para a cultivar TMG 7062 o tratamento de sementes com Ni, Co e Mo aumenta a taxa de retenção de sementes na peneira 7,0 mm.

Ambas cultivares estudadas respondem de maneira semelhante ao enriquecimento das sementes com molibdênio, cujos maiores teores são obtidos com a aplicação de Ni, Co e Mo no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de  $40 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo no estágio R5.1, associada ou não com a aplicação de  $10 \text{ g ha}^{-1}$  de Ni no estágio V6.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas; À CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



(CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro; e a empresa Compass Minerals, pelo apoio financeiro e suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

- Ahmed, S.; Evans, H. J. The essentiality of cobalt for soybean plants grown under symbiotic conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.47, n.1, p.24-36, 1961.
- Almeida, F. F. D.; Araújo, A. P.; Alves, B. J. R. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.367-378, 2013.
- Barcelos, J. P. Q.; Osório, C. R. W. S.; Leal, A. J. F.; Alves, C. Z.; Santos, E. F.; Reis, H. P. G.; Reis, A. R. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n.2, p.184-192, 2017.
- Bligh, E. G.; Dyer, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, v.37, n.8, p.911-917, 1959.
- Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 2009a. 399 p.
- Campo, R. J.; Araujo, R. S.; Hungria, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, v.110, n.3, p.219-224, 2009.
- Carvalho, E. R.; Oliveira, J. A.; Costa Neto, J.; Silva, C. A. T.; Ferreira, V. F. Doses e épocas de aplicação de manganês via foliar no cultivo de soja convencional e em derivada transgênica RR. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.352-361, 2015.
- Cataldo, D.A.; Garland, T.R.; Wildung, R.E. Nickel in plants II. Distribution and chemical form in soybean plants. **Plant Physiology**, v.62, p.566-570, 1978.
- Cobab - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.7 - Safra 2019/20, n.8 - Oitavo levantamento, Brasília, 125 p., Maio 2019.
- Cortese, D.; Pierozan Junior, C.; Walter, J. B.; Cortese, D.; Oliveira, S. M. Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. **Journal of Seed Science**, v.41, n.2, p.144-150, 2019.
- Dourado Neto, D.; Dario, G. J. A.; Martin, T. N.; Silva, M. R.; Pavinato, P. S.; Habitzreiter, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p.2741-2752, 2012.
- Evans, H. J.; Harker, A. R.; Papen, H.; Russell, S. A.; Hanus, F. J.; Zuber, M. Physiology, biochemistry, and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. **Annual Review of Microbiology**, v.41, p. 335-361, 1987.
- Fehr, W. R. *et al.* Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L) Merrill). **Crop Science**, v. 11, n.6, p. 929-931, 1971.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- Freitas, D. S.; Rodak, B. W.; Carneiro, M. A. C.; Guilherme, L. R. G. How does Ni fertilization affect a responsive soybean genotype? A dose study. **Plant and Soil**, v.441, p.567-586, 2019.
- Gelain, E.; Rosa Junior, E. J.; Mercante, F. M.; Fortes, D. G.; Souza, F. R.; Rosa, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.2, p.259-269, 2011.

- Hungria, M.; Mendes, I. C. Nitrogen fixation with soybean: The perfect symbiosis? In: Bruijn, F.J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, p.1009-1024, 2015.
- IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo, SP). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo, 1985. v.1 533 p.
- Kutman, B. Y.; Kutman, U. B.; Cakmak, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. **Plant and Soil**, n.376, n.1-2, p.261-276, 2014.
- Kutman, B. Y.; Kutman, U. B.; Cakmak, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, n.363, n.1-2, p.61-75, 2013.
- Lavres, J.; Franco, G. C.; Câmara, G. M. S. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v.4, n.37, p.1-11, 2016.
- Lopes, J. F.; Coelho, F.C.; Rabello, W. S.; Rangel, O. J. P.; Gravina, G. A.; Vieira, H. D. Produtividade e composição mineral do feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. **Revista Ceres**, v.63, n.3, p.419-426, 2016.
- Majda, C.; Khalid, D.; Aziz, A.; Rachid, B.; Badr, A. S.; Lotfi, A.; Mohamed, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Science of the Total Environment**, v.661, p.654-663, 2019.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 115-230 p.
- Malavolta, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p
- Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Elsevier, 2012. 643p.
- Marcondes, J. A. P.; Caires, E. F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo de soja. **Bragantia**, v.64, n.4, p.687-694, 2005.
- Mathias, V.; Coelho, C. M. M.; Garcia, J. Soluble protein as indicative of physiological quality of soybean seeds. **Revista Caatinga**, v.32, n.3, p.730-740, 2019.
- Mathias, V.; Coelho, C. M. M. Rendimento por peneiras de classificação e vigor em resposta às épocas de colheita de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.61, p.1-6, 2018.
- Mattioni, N. M.; Schuch, L. O. B.; Villela, F. A. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.608-615, 2011.
- Mendel, R. R.; Hänsch, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.375, p.1689-1698, 2002.
- Milani, G. L.; Oliveira, J. A.; Pereira, E. M.; Carvalho, B. O.; Oliveira, G. E.; Costa, R. R. Aplicação foliar de molibdênio durante a maturação de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.4, p.810-816, 2010.
- Miyazaka, M. Análise química de tecido vegetal. In: Silva, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.191-234.
- Oliveira, C. O.; Pinto, C. C.; Garcia, A.; Bettiol, J. V. T.; Sá, M. E.; Lazarini, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v.64, n.3, p.282-290, 2017.
- Oliveira, C. O.; Lazarini, E.; Tarsitano, M. A. A.; Pinto, C. C.; Sá, M. E. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.1, p.82-88, 2015.
- Oliveira, M. A.; Mandarino, J. M. G.; Leite, R. S. Características físico-químicas das sementes de soja: teor de proteína, teor de óleo, acidez do óleo e teor de clorofila. In: Lorini, I.

**Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil - safra 2016/17.** Londrina: Embrapa Soja, 2018. p.97-111. (Documentos, 403).

Possenti, J. C.; Villela, F. A. Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.4, p.143-150, 2010.

Ritchie, S.W.; Hanway, J.J; Thomson, H.E.; Benson, G.O. **How a soybean plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1985. 20p. (Special Report, 53).

Rodak, R. W.; Moraes, M. F.; Pascoalino, J. A. L.; Oliveira Junior, A.; Castro, C.; Pauletti, V. Methods to quantify nickel in soils and plant tissues. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.788-793, 2015.

**ARTIGO 3 - QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA  
ENRIQUECIDAS COM NÍQUEL E MOLIBDÊNIO<sup>3</sup>**

---

<sup>3</sup> Artigo formatado conforme as normas da “a definir”

## Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja enriquecidas com níquel e molibdênio

**RESUMO** - A produção de sementes de soja de elevada qualidade é um desafio para o setor sementeiro. Embora este tema tenha sido pouco explorado na literatura, sabe-se que a nutrição mineral de plantas exerce influência direta sobre a produção e qualidade de sementes, porém, não há um consenso sobre os nutrientes que se relacionam com produtividade e qualidade de sementes. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do enriquecimento de sementes de soja com níquel e molibdênio sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes produzidas. Foram conduzidos dois experimentos, ambos com duas cultivares de soja, onde se realizou a associação do tratamento de sementes (níquel, cobalto e molibdênio) com aplicações foliares de níquel e molibdênio. Em ambos experimentos foi avaliado a produtividade de sementes e de proteína, composição química das sementes (teor de óleo, proteína, nitrogênio, níquel e molibdênio), qualidade fisiológica (primeira contagem, germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência) e qualidade sanitária (incidência de *Aspergillus* spp., *C. kikuchii*, *Fusarium* spp.). Para a cultivar SYN 13610 o tratamento de sementes seguida de aplicações foliares associadas ou não com 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel e 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio resultam em maiores produtividades. As aplicações isoladas ou associadas de níquel no estádio V6 e molibdênio em R5.1 aumentam a produtividade de sementes da TMG 7062. Ambas cultivares estudadas respondem de maneira semelhante ao enriquecimento das sementes com molibdênio, cujos maiores teores são obtidos com a aplicação de Ni, Co e Mo no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de 40 g de Mo ha<sup>-1</sup> no estádio R5.1, associada ou não com a aplicação de 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> no estádio V6. O enriquecimento de sementes com níquel melhora a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja. O enriquecimento de sementes com molibdênio aumenta o teor de proteína e nitrogênio nas sementes.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, Enriquecimento de sementes, Micronutrientes, Proteína.

**ABSTRACT** - The production of high quality soy seeds is a challenge for the seed sector. Although little explored in the literature, it is known that plant mineral nutrition has a direct influence on seed production and quality, however, there is no consensus on the nutrients that relate to seed productivity and quality. Given the above, the objective of this study was to evaluate the effect of enriching soybean seeds with nickel and molybdenum on the

physiological and health quality of the seeds produced. Two experiments were carried out, both with two soybean cultivars, where the seed treatment (nickel, cobalt and molybdenum) was combined with foliar applications of nickel and molybdenum. In both experiments, seed and protein productivity, chemical composition of seeds (oil, protein, nitrogen, nickel and molybdenum content), physiological quality (first count, germination, accelerated aging, electrical conductivity, emergence and speed index) were evaluated (emergency) and sanitary quality (incidence of *Aspergillus* spp., *C. kikuchii*, *Fusarium* spp.). For the cultivar SYN 13610, seed treatment followed by foliar applications associated or not with 10 g ha<sup>-1</sup> of nickel and 40 g ha<sup>-1</sup> of molybdenum result in higher productivity. The isolated or associated applications of nickel in the V6 stage and molybdenum in R5.1 increase the seed yield of TMG 7062. Both cultivars studied respond in a similar way to enriching the seeds with molybdenum, whose highest levels are obtained with the application of Ni, Co and Mo in seed treatment followed by foliar application of 40 g of Mo ha<sup>-1</sup> at stage R5.1, associated or not with the application of 10 g of Ni ha<sup>-1</sup> at stage V6. The enrichment of seeds with nickel improves the physiological and sanitary quality of soybean seeds, on the other hand, enrichment of seeds with molybdenum increases the protein and nitrogen content in the seeds.

**Key Words:** *Glycine max* (L.) Merrill, Seed enrichment, Micronutrients, Protein.

## INTRODUÇÃO

A produção de sementes de soja no Brasil ainda é um desafio, especialmente porque estresses climáticos e nutricionais são considerados as principais causas da deterioração da semente (França-Neto et al., 2016; França-Neto et al., 2018). Além disso, pouco se sabe sobre a influência da nutrição mineral de plantas na produção de sementes de qualidade superior, especialmente quando se fala sobre a relação do enriquecimento de sementes com nutrientes e qualidade das sementes obtidas.

O enriquecimento de sementes visa aumentar o teor de nutrientes nas sementes a partir de aplicações durante o desenvolvimento da cultura da soja (Campo et al., 2009). Esta técnica é uma alternativa economicamente viável e eficaz no fornecimento de nutrientes às plantas, a partir das reservas das sementes enriquecidas (Oliveira et al., 2015), com aumento significativo em produtividade (Campo et al., 2009; Oliveira et al., 2017).

Os estudos com enriquecimento de sementes de soja são frequentemente relacionados a micronutrientes, como níquel e molibdênio, que são exigidos em poucas gramas por hectare (Sfredo & Oliveira, 2010; Barcelos et al., 2017; Lavres et al., 2016) e apresentam mobilidade no floema (Malavolta, 2006; Marschner, 2012). É importante ressaltar, que o níquel e o

molibdênio são essenciais para a fixação biológica de nitrogênio e metabolismo de nitrogênio na cultura da soja (Marschner, 2012; Polacco et al., 2013). Estudos indicam que a aplicação destes nutrientes, juntamente com o cobalto, propicia não só aumento de produtividade de sementes em decorrência da maior fixação biológica de nitrogênio (Dourado Neto et al., 2012; Lavres et al., 2016), mas também aumento de proteína e qualidade das sementes (Barcelos et al., 2017; Oliveira et al., 2017; Cortese et al., 2019; Gewehr et al. 2019). Contudo, a maioria destes trabalhos avaliaram o efeito isolado dos nutrientes, o que fundamenta a necessidade de estudos que investiguem a resposta em função da combinação e possíveis interações destes nutrientes sobre a produtividade, enriquecimento e qualidade das sementes de soja.

A qualidade de sementes é o somatório de atributos de qualidade física, genética, fisiológica e sanitária que, juntos, conferem adequado estabelecimento de plântulas em campo e, conseqüentemente, potencial produtivo (Rossi et al., 2017; Krzyzanowski et al., 2018). Vale ressaltar que além dos desafios enfrentados na produção de sementes de qualidade (França-Neto et al., 2016; França-Neto et al., 2018), é importante mencionar que a conservação da qualidade das sementes durante o armazenamento também compreende uma etapa crítica que pode definir o descarte ou a comercialização do lote de sementes. Contudo, alguns estudos apontam que o teor de proteínas pode ser um indicativo de manutenção da qualidade fisiológica de sementes de soja (Delarmelino-Ferraresi et al., 2014; Mathias et al., 2019), uma vez que os processos bioquímicos relacionados ao vigor de sementes estão relacionados a variações nos teores de proteína (Henning et al., 2010; Han et al., 2013; Marcos-Filho, 2015).

O teor de proteína em sementes de soja varia de 33 a 42% (Oliveira et al., 2018). Sabe-se que o teor de proteína em sementes de soja pode variar de acordo com a cultivar e época de semeadura (Faria et al., 2018), bem como, conforme já mencionado, pelo manejo nutricional envolvido na eficiência da fixação biológica de nitrogênio e, conseqüentemente, no metabolismo de nitrogênio na folha para produção de proteínas (Souza et al., 2009; Polacco et al., 2013; Lavres et al., 2016; Barcelos et al., 2017; Oliveira et al., 2017).

Diante da importância da produção de sementes de alta qualidade e também da carência de estudos que avaliem o efeito da interação de nutrientes na qualidade de sementes de soja, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da aplicação de níquel, cobalto e molibdênio no enriquecimento de sementes de soja e sua relação com a qualidade fisiológica e sanitária.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar a influência de aplicação de níquel, cobalto e molibdênio no enriquecimento e qualidade de sementes de soja foram conduzidos dois experimentos no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras, localizado no município de Lavras - MG, à latitude de 21°12' S, longitude 44°58' W e altitude de 955 m. Os experimentos 1 e 2 foram conduzidos nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente, cujos dados climáticos obtidos durante a condução dos experimentos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Temperatura mínima, média e máxima e de precipitação acumulada em mês durante o período experimental nas duas safras. Lavras, MG, Brasil. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Mês	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)
	Mínima	Média	Máxima	
----- Safra 2016/17 -----				
Nov	17,5	22,0	27,9	55,8
Dez	18,1	23,1	29,5	145,0
Jan	19,3	23,7	30,3	157,9
Fev	18,6	23,3	29,9	64,1
Mar	17,6	22,5	29,3	158,6
Abr	17,0	22,1	29,0	77,1
----- Safra 2017/18 -----				
Nov	18,9	24,2	29,3	240,2
Dez	18,7	23,9	29,1	85,5
Jan	19,0	25,0	30,4	59,4
Fev	17,8	23,4	28,4	3,0
Mar	17,3	22,8	27,2	126,4
Abr	18,5	24,1	28,9	235,8

As cultivares de soja (Tabela 2) foram semeadas manualmente em sistema de semeadura direta. A abertura dos sulcos no solo e a adubação de semeadura foram realizadas mecanicamente, sendo que a adubação foi definida conforme as exigências da cultura (Ribeiro et al., 1999). Em ambos os experimentos, as sementes foram inicialmente tratadas com fungicida e inseticida (Pyraclostrobin + Thiophanate methyl + Fipronil), na dose de 200 mL p.c. 100 kg<sup>-1</sup> de sementes, e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 100 mL 50 kg<sup>-1</sup> de sementes do produto comercial, correspondendo a 1,4 x 10<sup>6</sup> de bactérias por



sementes. Os demais tratamentos culturais foram realizados uniformemente conforme necessidade e recomendações técnicas.

**Tabela 2.** Hábito de crescimento, população de plantas e ciclo das cultivares de soja utilizadas no experimento 1 e experimento 2.

Experimento	Cultivares	Hábito de crescimento	População (plantas ha <sup>-1</sup> )	Ciclo (dias)
1	SYN 13610 IPRO	Indeterminado	300.000	118
	SYN 13671 IPRO	Indeterminado	300.000	118
2	TMG 7062 IPRO	Semideterminado	280.000	112
	M 6410 IPRO	Indeterminado	200.000	121

Ambos experimentos foram conduzidos em blocos casualizados. As parcelas foram constituída por 4 linhas de 5 metros de comprimentos, espaçadas em 0,6 m entre si, totalizando 12 m<sup>2</sup>. As duas linhas laterais e 0,5 m em cada extremidade foram consideradas como bordadura. O Experimento 1 foi conduzido em esquema fatorial 2 x 9 (cultivares x combinações de aplicações de níquel, cobalto e molibdênio), com três repetições (blocos). No Experimento 2 os tratamentos foram dispostos em fatorial 2 x 4 (tratamento de sementes x aplicações foliares), com quatro repetições (blocos) e duas cultivares de soja (TMG 7062 e M 6410). O detalhamento das doses de níquel, cobalto e molibdênio e suas respectivas formas e estádios de aplicação está apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Descrição dos tratamentos, doses e forma de aplicação de níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo) na produção de sementes de soja nos dois experimentos.

Tratamentos	Produto	Dose (ha <sup>-1</sup> )	Forma de aplicação
----- Experimento 1 -----			
C	Controle	-	-
TS	Ni, Co, Mo	1,8; 0,9; 18,1	TS
TS(Ni)1	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 10	TS + AF
TS(Ni)2	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 20	TS + AF
TS(Mo)1	Ni, Co, Mo + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 20	TS + AF
TS(Mo)2	Ni, Co, Mo + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 40	TS + AF
TS(NiMo)1	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 10 + 20	TS + AF + AF
TS(NiMo)2	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 10 + 40	TS + AF + AF
TS(NiMo)3	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 20 + 40	TS + AF + AF
----- Experimento 2 -----			
C	-	-	-
Ni	Ni <sup>1</sup>	10	AF
Mo	Mo <sup>2</sup>	40	AF
NiMo	Ni + Mo <sup>2</sup>	10 + 40	AF + AF
TS	Ni, Co, Mo	1,8; 0,9; 18,1	TS
TS(Ni)	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 10	TS + AF
TS(Mo)	Ni, Co, Mo + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 40	TS + AF
TS(NiMo)	Ni, Co, Mo + Ni <sup>1</sup> + Mo <sup>2</sup>	1,8; 0,9; 18,1 + 10 + 40	TS + AF + AF

Nota. C - Controle; Ni<sup>1</sup> - Níquel aplicado no estádio V5-V6 (Fehr et al., 1971); Mo<sup>2</sup> - Molibdênio aplicado no estádio R5.1 (Ritchie et al., 1985); TS - Tratamento de sementes; AF - Aplicação foliar.

O tratamento de sementes foi realizado com fertilizante mineral misto (12,0 g L<sup>-1</sup> de Ni, 6,0 g L<sup>-1</sup> de Co e 120,6 g L<sup>-1</sup> de Mo) na dose de 150 mL ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 1,8 g ha<sup>-1</sup> de níquel, 0,9 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e 18,1 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio. Para as aplicações foliares com níquel (quelato de níquel EDTA - 13% de Ni) e molibdênio (molibdato de sódio - 42% de Mo) utilizou-se um pulverizador costal de pressão constante por CO<sub>2</sub> (2,6 kgf cm<sup>-2</sup>) com volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita, realizada manualmente quando as plantas atingiram estádio R8, e debulha também manual, as sementes foram homogeneizadas, divididas em duplicatas de aproximadamente 400 g e acondicionadas em saco de papel kraft multifoliado. A primeira duplicata foi utilizada imediatamente nas análises e a segunda armazenada por nove meses em

condições ambientais ( $T_{\text{média}} = 24,4 \pm 1,2$  °C;  $UR_{\text{média}} = 40,7 \pm 1,7\%$ ). Neste período o teor de água médio das sementes foi de  $11,4 \pm 0,7\%$ .

A avaliação da qualidade fisiológica e sanitária das sementes em ambos experimentos foi realizada utilizando duas sub amostras de 50 sementes para cada parcela experimental de campo, conforme descrito a seguir:

*Primeira contagem (PC) e Germinação (G)*: para evitar danos por embebição, inicialmente as sementes foram submetidas ao pré-condicionamento a 25 °C por 16 horas. Em seguida, duas sub amostras de 50 sementes para cada bloco de campo foram semeadas em rolos de papel Germitest umedecidos com água equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco e mantidas em germinador regulado a temperatura de 25 °C. A porcentagem de plântulas normais foi avaliada no quinto (PC) e oitavo (G) dia após a implantação do teste (Brasil, 2009).

*Envelhecimento acelerado (EA)*: utilizou-se o método da gerbox a 41 °C durante 48 horas (Marcos-Filho, 1999). Após esse período, duas sub amostras de 50 sementes para cada bloco de campo foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente, computando-se a porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a semeadura.

*Condutividade elétrica (CE)*: duas sub amostras de 50 sementes de cada bloco de campo foram previamente pesadas (0,01 g), colocadas em copos plásticos com 75 mL de água destilada e mantidas em B.O.D. a 25 °C por 24 horas. Os valores de condutividade elétrica foram avaliados em condutivímetro modelo mCA 150 e os resultados expressos em  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  de sementes (Vieira & Krzyzanowski, 1999).

*Emergência de plântulas (EP) e índice de velocidade de emergência (IVE)*: duas sub amostras de 50 sementes de cada bloco de campo foram semeadas em bandejas plásticas contendo como substrato areia e solo, na proporção 2:1. Após a semeadura as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal, à temperatura de 25 °C e regime diário de 12 horas de luz. As contagens foram realizadas diariamente computando-se o número de plântulas com cotilédones totalmente acima do substrato. A porcentagem de plântulas emergidas foi determinada aos 15 dias após a semeadura e o índice de velocidade de emergência calculado conforme Maguire (1962).

*Tetrazólio (TZ)*: avaliou-se duas amostras de 50 sementes de cada bloco de campo, as quais foram pré-condicionadas em gerbox com tela durante 16 h a 25 °C (Brasil, 2009) e posteriormente entre papel Germitest umedecido durante 16 h a 25 °C; colocadas em solução de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio a 0,075% por 3 h a 40 °C; lavadas em água corrente. Em seguida foram avaliadas quanto a viabilidade (classes 1-5), vigor (classes 1-3), danos de

deterioração por umidade, danos mecânicos e danos por percevejo (França Neto & Krzyzanowski, 2018).

*Sanidade (SN)*: conduzido utilizando o método do papel de filtro, duas sub amostras de 50 sementes de cada bloco de campo divididas em duas repetições de 25 sementes. A semeadura foi realizada sob papel mata borrão em placas de petri, sendo que após a esterilização, o papel de filtro foi umedecido com água, ágar e 2,4 D (2,4-diclorofenoxiacetato de sódio) a 8 ppm de concentração. As placas foram incubadas por 7 dias em sala a 20 °C e fotoperíodo de 12 horas. A incidência de fungos nas sementes foi avaliada em microscópico óptico e lupa estereoscópica (Henning, 2015).

*Composição química das sementes*: após a colheita as sementes foram homogeneizadas e então foi retirada uma amostra de 100 g de cada parcela experimental de campo para determinação da composição química das sementes. Para determinação do teor de óleo, os lipídeos totais foram extraídos segundo técnica descrita por Bligh & Dyer (1959). O teor de proteína bruta foi obtido a partir do teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se o fator 6,25 (Miyazawa et al., 2009). O conteúdo de cinzas foi determinado por meio da calcinação das amostras a 550 °C, conforme o método descrito nas normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985). O teor de carboidratos totais foi obtido pela diferença porcentual do teor de óleo (%OLE), proteínas (%PTN) e cinzas (%CNZ), conforme a fórmula:  $\%CHO = 100 - (\%OLE + \%PTN + \%CNZ)$  (Moraes et al., 2006). Os teores de níquel e molibdênio foram determinados conforme os procedimentos descritos por Miyazawa et al. (2009). As análises foram realizadas no Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal.

Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ) separadamente para cada experimentos e cultivares utilizando o software Sisvar® (Ferreira, 2014). Quando necessário as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) no Experimento 1 e separadas pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ) e F ( $p < 0,05$ ) no Experimento 2. Também foi utilizado o teste de Scheffé ( $p < 0,05$ ) para testar alguns contrastes necessários e pertinentes.

Para avaliar o efeito geral do enriquecimento com níquel e molibdênio na qualidade fisiológica e sanitária das sementes, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) para cada período de armazenamento (0 e 9 meses), utilizando o software R.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Experimento 1*

O teor de óleo, proteína e níquel nas sementes não foram influenciados pela aplicação de níquel, cobalto e molibdênio em ambas cultivares estudadas (Tabela 4), cujo teor médio foi de 17,11%, 34,12% e 0,53 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes teores de proteínas são considerados normais quando comparados com os obtidos em um levantamento realizado a nível nacional pela Embrapa Soja, cujos teores médios variaram de 33 a 42% (Oliveira et al., 2018). Estes resultados podem ser justificados pela influência genética das cultivares estudadas e também por interferências climáticas, haja visto que durante os estádios de enchimento de sementes (janeira a março) nos dois experimentos a precipitação foi insuficiente para anteder as necessidades da cultura (Tabela 1).

**Tabela 4.** Significância dos valores de F da análise de variância para teor de óleo (OLE), proteína (PTN), nitrogênio (N), níquel (Ni), molibdênio (Mo), produtividade de sementes (PROD), de óleo (P.OLE) e de proteína (P.PTN) em sementes de quatro cultivares de soja (SYN 13610 IPRO, SYN 13671 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF).

FV	OLE	PTN	N	Ni	Mo	PROD	P.OLE	P.PTN
	----- % -----	----- % -----	g kg <sup>-1</sup>	---- mg kg <sup>-1</sup> ----	----- mg kg <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----
----- SYN 13610 IPRO - Experimento 1 -----								
Tratamentos	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	*
Média geral	17,62	35,80	57,28	0,57	4,79	3376	596	1206
CV (%)	6,81	6,4	7,75	59,82	13,15	6,02	9,76	7,71
----- SYN 13671 IPRO - Experimento 1 -----								
Tratamentos	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	ns
Média geral	16,60	32,45	52,66	0,48	4,50	3920	651	1271
CV (%)	6,88	6,37	7,16	46,63	12,67	4,95	8,20	9,03

FV - Fonte de variação; CV - Coeficiente de variação; \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo.

Diferentemente do que foi observado para os teores de níquel nas sementes, os tratamentos visando enriquecimento das sementes de soja exerceram efeito significativo nos teores de molibdênio nas sementes de ambas cultivares estudadas (Tabela 4). Constata-se que o enriquecimento das sementes com molibdênio ocorreu de maneira similar para as cultivares SYN 13610 e SYN 13671 (Tabela 5), cujos menores valores (0,34 a 0,36 mg kg<sup>-1</sup>) foram obtidos para o tratamento “Controle”. Estes valores são considerados baixos (Campo et al., 2009) e insuficientes para atender à exigência mínima (3,5 mg kg<sup>-1</sup>) da cultura da soja (Jacob-Neto et al., 1997). O tratamento de sementes (TS) isolado ou associado a aplicações foliar [TS(AF)] promoveram incremento no teor de molibdênio nas sementes na ordem de 1049% e

1533% para a cultivar SYN 13610 e 799% e 1363% para a cultivar SYN 13671, respectivamente. Verifica-se que em ambas cultivares os maiores teores de molibdênio foram obtidos com a aplicação foliar de 40 g Mo ha<sup>-1</sup> associada ou não com a aplicação de 10 g Ni ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Teor de molibdênio (Mo) e nitrogênio (N) e produtividade de sementes (PROD) e proteína (P.PTN) de sementes de duas cultivares de soja (SYN 13610 IPRO, SYN 13671 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF).

Tratamentos	SYN 13610 IPRO			SYN 13671 IPRO	
	Mo mg kg <sup>-1</sup>	PROD ----- kg ha <sup>-1</sup> -----	P.PTN -----	Mo mg kg <sup>-1</sup>	N g kg <sup>-1</sup>
Controle *	0,34 d	3262 b	1108 b	0,36 d	47,72
TS	3,91 c	3339 b	1093 b	3,24 c	48,59
TS(Ni)1	3,66 c	3600 a	1341 a	3,35 c	53,94
TS(Ni)2	3,89 c	3032 b	1108 b	3,65 c	50,46
TS(Mo)1	5,84 b	3524 a	1267 a	5,50 b	53,72
TS(Mo)2	7,84 a	3616 a	1323 a	6,63 a	52,71
TS(NiMo)1	5,25 b	3227 b	1197 b	5,62 b	53,50
TS(NiMo)2	5,43 b	3577 a	1278 a	5,47 b	53,69
TS(NiMo)3	6,94 a	3206 b	1139 b	6,65 a	59,59
Controle **	0,34 b	3262	1108	0,36 b	47,72
TS	3,91 a	3339	1093	3,24 a	48,59
Controle	0,34 b	3262	1108 b	0,36 b	47,72 b
TS(AF)	5,55 a	3398	1236 a	5,27 a	53,94 a
TS	3,91 b	3339	1093 b	3,24 b	48,59 b
TS(AF)	5,55 a	3398	1236 a	5,27 a	53,94 a
TS(Ni)1	3,66	3600 a	1341 a	3,35	53,94
TS(Ni)2	3,89	3032 b	1108 b	3,65	50,46
TS(Mo)1	5,84 b	3524	1267	5,50 b	53,72
TS(Mo)2	7,84 a	3616	1323	6,63 a	52,71
TS(Ni)	3,78 b	3316 b	1224	3,50 b	52,20
TS(Mo)	6,84 a	3570 a	1295	6,06 a	53,22
TS(Ni)	3,78 b	3316	1224	3,50 b	52,20
TS(NiMo)	5,87 a	3337	1205	5,91 a	55,59
TS(Mo)	6,84 a	3570 a	1295	6,06	53,22
TS(NiMo)	5,87 b	3337 b	1205	5,91	55,59

\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

\*\* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scheffé ( $p < 0,05$ ).

A produtividade de sementes e de proteína foram significativamente influenciadas pela nutrição com níquel, cobalto e molibdênio (Tabela 5), cujas maiores produtividades foram obtidas com a associação de níquel, cobalto e molibdênio no TS e aplicações foliares de níquel [TS(Ni)1] e molibdênio [TS(Mo)] e sua associação [TS(NiMo)2]. Ao comparar o efeito das doses de níquel, constata-se que 20 g ha<sup>-1</sup> de níquel [TS(Ni)2] isolada ou associada a 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio [TS(NiMo)3] reduziu a produtividade de sementes e de proteína. Ao avaliar a influência de doses de níquel aplicadas via folha na cultura da soja, Barcelos et al. (2017) constataram incremento de produtividade até a dose de 20 g ha<sup>-1</sup>.

Sabe-se que o teor de proteína é determinado indiretamente pelo teor de nitrogênio (Miyazawa et al., 2009) e que o teor de nitrogênio está diretamente relacionado a maior fixação biológica de nitrogênio (Dourado Neto et al., 2012; Marschner, 2012) e metabolismo deste nutriente na planta (Polacco et al., 2013; Lavres, Franco & Câmara, 2016). Contudo, constata-se que apesar do teor de proteína não ter sido influenciado pelos tratamentos, a associação de níquel, cobalto e molibdênio no TS com níquel e molibdênio via folha, TS(AF), promoveu aumento de 11,5% no teor de nitrogênio nas sementes da SYN 13671 (Tabela 5), evidenciando a importância da aplicação de níquel, cobalto e molibdênio no metabolismo de nitrogênio na cultura da soja (Polacco et al., 2013; Lavres, Franco & Câmara, 2016).

### *Experimento 2*

Assim como foi observado no Experimento 1, o teor de óleo, proteína e níquel nas sementes, também não foram influenciados pela aplicação de níquel, cobalto e molibdênio em ambas cultivares estudadas (Tabela 6), cujo teor médio foi de 17,41%, 31,21% e 0,92 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Observa-se que os teores de proteínas estão abaixo daqueles obtidos no levantamento realizado a nível nacional pela Embrapa Soja, cujos teores médios variaram de 33 a 42% (Oliveira et al., 2018).

**Tabela 6.** Significância dos valores de F da análise de variância para teor de óleo (OLE), proteína (PTN), nitrogênio (N), níquel (Ni), molibdênio (Mo), produtividade de sementes (PROD), de óleo (P.OLE) e de proteína (P.PTN) em sementes de quatro cultivares de soja (TMG 7062 IPRO, M 6410 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF).

FV	OLE	PTN	N	Ni	Mo	PROD	P.OLE	P.PTN
	----- % -----	----- % -----	g kg <sup>-1</sup>	---- mg kg <sup>-1</sup> ----	----- mg kg <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	----- kg ha <sup>-1</sup> -----
----- TMG 7062 IPRO - Experimento 2 -----								
TS	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
AF	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns
TS x AF	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
Média geral	17,63	31,18	49,89	0,92	5,48	2985	525	930
CV (%)	4,70	2,32	2,32	31,26	10,54	12,43	15,08	12,80
----- M 6410 IPRO - Experimento 2 -----								
TS	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
AF	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
TS x AF	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
Média geral	17,18	31,24	49,98	0,93	5,50	3182	545	994
CV (%)	3,20	2,81	2,82	35,33	15,44	19,39	19,80	20,28

FV - Fonte de variação; CV - Coeficiente de variação; \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo.

Os teores de molibdênio nas sementes aumentaram ( $p < 0,05$ ) de maneira semelhante nas duas cultivares de soja, independentemente do método de aplicação (Tabela 7). Os incrementos médios nos teores de molibdênio nas sementes de soja das cultivares M 6410 e TMG 7062 foram de 260% e 253% com o tratamento de sementes e de 139% e 126% com o tratamento de sementes associado com a aplicação foliar de 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio. Contudo, constata-se que os maiores teores de molibdênio para a cultivar M 6410 (9,48 e 8,80 mg kg<sup>-1</sup>) e TMG 7062 (9,10 e 9,05 mg kg<sup>-1</sup>) foram obtidos com o tratamento de sementes com 2,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel, 1,0 g ha<sup>-1</sup> de cobalto e 19,6 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio e aplicação foliar de 40,0 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio, associada ou não com a aplicação de 10,0 g ha<sup>-1</sup> de níquel.



**Tabela 7.** Teor de molibdênio (Mo) e produtividade (PROD) de sementes de duas cultivares de soja (TMG 7062 IPRO, M 6410 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF).

Aplicação Foliar	----- TMG 7062 IPRO -----			----- M 6410 IPRO -----	
	Mo (mg kg <sup>-1</sup> )		PROD	Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Controle	TS	kg ha <sup>-1</sup>	Controle	TS
Controle	1,28 b B	4,30 b A	2680 b	1,15 b A	4,93 b A
Ni	1,10 b B	4,10 b A	2980 ab	1,43 b A	4,35 b A
Mo	7,65 a B	9,10 a A	3047 ab	6,65 a A	9,48 a A
Ni+Mo	7,28 a B	9,05 a A	3236 a	7,23 a A	8,80 a A

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste LSD ( $p < 0,05$ ) e F ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

A alta mobilidade do molibdênio no floema (Marschner, 2012) e manejo nutricional com a aplicação deste micronutriente tem proporcionado respostas positivas em produtividade e teor de molibdênio em sementes de soja (Campo, Araujo & Hungria, 2009; Milani et al., 2010; Cortese et al., 2019). Estudos iniciais realizados por Campo, Araujo & Hungria (2009) demonstraram que o uso de sementes enriquecidas (13,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) com molibdênio resultou em aumento de produtividade na ordem de 56% quando comparada com sementes cujo teor de molibdênio era de 0,73  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Milani et al. (2010) constataram que a aplicação de 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio no R5.2 e R5.4 proporcionou teor de molibdênio nas sementes de 7,1 mg kg<sup>-1</sup>, correspondendo a 33% maior do que o tratamento controle (sem molibdênio). O enriquecimento de sementes com molibdênio com a aplicação foliar deste micronutriente em estádios reprodutivos também foi observado por Possenti & Villela (2010) e Oliveira et al. (2017).

Houve incrementos significativos em produtividade de sementes da cultivar TMG 7062 com a aplicação foliar de 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel (Ni) + 40 g ha<sup>-1</sup> molibdênio (Mo), sendo que, ao comparar com o tratamento “Controle”, a interação entre níquel e molibdênio (Ni + Mo) resultou no aumento de 556 kg ha<sup>-1</sup> em produtividade (Tabela 7). O incremento em produtividade de soja com a aplicação de níquel e molibdênio são bem documentadas na literatura (Dourado Neto et al. 2012; Kutman et al., 2013; Kutman et al., 2014; Lavres et al., 2016; Oliveira et al., 2017), porém, analisando o efeito isolado de cada nutriente. Estes incrementos de produtividade de soja com a aplicação de níquel e molibdênio foram relacionados com a maior atividade fotossintética, eficiência no processo de fixação biológica de nitrogênio e metabolismo de nitrogênio na planta, eventos bioquímicos mensurados pelo

maior teor de clorofila e taxa fotossintética nas folhas e maior atividade das enzimas hidrogenase e nitrogenase nos nódulos e urease nas folhas (Almeida et al., 2013; Lavres et al., 2016; Freitas et al., 2019; Madja et al., 2019).

#### *Qualidade fisiológica das sementes*

O efeito das aplicações de níquel, cobalto e molibdênio sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja se mostrou bastante variável entre as cultivares estudadas, porém, constata-se que houve maior efeito dos tratamentos quando a qualidade das sementes foi avaliada após nove meses armazenamento das sementes (Tabela 7 a Tabela 9). Esta alta variabilidade de efeito da nutrição mineral na qualidade fisiológica de sementes de soja tem sido bastante recorrente (Carvalho et al., 2015; Barcelos et al., 2017; Cortese et al., 2019; Gewehr et al., 2019). Contudo, vale ressaltar, que na maioria dos estudos a qualidade das sementes foi avaliada imediatamente após a colheita, momento em que a alta qualidade das sementes pode ter mascarado o efeito dos tratamentos estudados. Por este motivo, analisou-se a qualidade das sementes imediatamente após a colheita (0 meses de armazenamento) e também após nove meses de armazenamento.

**Tabela 8.** Significância dos valores de F da análise de variância para primeira contagem (PC, %), germinação (G, %), germinação após envelhecimento acelerado (EA, %), vigor por tetrazólio (VG, %), viabilidade por tetrazólio (VB, %), condutividade elétrica (CE,  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), emergência de plântulas (EP, %) e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de quatro cultivares de soja (SYN 13610 IPRO, SYN 13671 IPRO, TMG 7062 IPRO, M 6410 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF) e armazenadas por dois períodos (0 e 9 meses).

FV	PC		G		EA		VG		VB		CE		EP		IVE	
	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9
----- SYN 13610 IPRO - Experimento 1 -----																
Tratamentos	Ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	95,96	89,52	96,22	94,04	92,89	88,07	74,91	61,94	91,56	84,33	78,69	88,00	95,17	95,22	13,72	11,22
CV (%)	1,87	3,94	1,74	2,99	4,07	5,11	10,82	10,87	4,49	5,62	9,15	10,35	2,35	2,70	5,74	5,53
----- SYN 13671 IPRO - Experimento 1 -----																
Tratamentos	**	ns	ns	ns	ns	**	*	*	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Média geral	95,37	92,67	95,83	95,13	90,98	88,44	75,22	62,59	92,93	84,91	80,81	89,85	95,87	95,98	13,73	11,30
CV (%)	2,17	3,28	2,14	2,52	6,22	4,90	8,24	10,95	3,43	6,72	7,54	8,40	2,50	2,56	6,53	4,61
----- TMG 7062 IPRO - Experimento 2 -----																
TS	Ns	*	ns	**	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AF	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
TS x AF	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média geral	99,28	99,16	99,38	99,41	97,88	97,13	94,22	69,63	96,84	99,09	63,73	67,47	98,81	95,13	11,73	10,56
CV (%)	1,32	1,43	1,27	1,12	2,48	2,90	15,55	15,04	14,92	1,48	8,96	10,13	2,11	4,16	3,47	9,10
----- M 6410 IPRO - Experimento 2 -----																
TS	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
AF	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
TS x AF	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	99,25	98,84	99,38	99,16	97,56	97,53	95,69	82,81	99,00	99,47	67,66	74,02	98,56	96,31	11,73	10,77
CV (%)	1,30	1,50	1,12	1,34	2,96	2,37	9,10	8,93	3,45	1,16	1,98	7,57	2,26	3,33	3,74	8,74

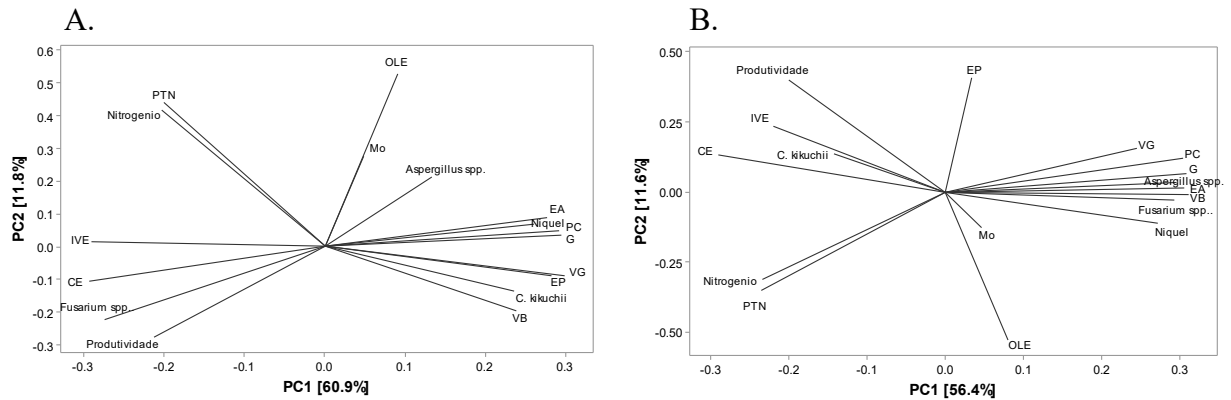
FV - Fonte de variação; CV - Coeficiente de variação; \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> Não significativo.

**Tabela 9.** Significância dos valores de F da análise de variância para incidência (%) de *Aspergillus* spp. (Asp.), *Cercospora kikuchii* (C.k.) e *Fusarium* spp. (Fus.) em sementes de quatro cultivares de soja (SYN 13610 IPRO, SYN 13671 IPRO, TMG 7062 IPRO, M 6410 IPRO) produzidas com a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes (TS) e aplicação foliar (AF) e armazenadas por dois períodos (0 e 9 meses).

FV	Asp.		C.k.		Fus.	
	0	9	0	9	0	9
----- SYN 13610 IPRO - Experimento 1 -----						
Tratamentos	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	1,59	0,22	0,00	0,93	46,63	0,04
CV (%)	45,64	22,10	0,00	34,50	15,94	9,83
----- SYN 13671 IPRO - Experimento 1 -----						
Tratamentos	**	ns	ns	**	ns	ns
Média geral	1,19	0,37	0,00	3,00	63,19	0,11
CV (%)	39,66	26,75	0,00	58,57	8,66	15,79
----- TMG 7062 IPRO - Experimento 2 -----						
TS	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TS x AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	5,75	2,89	3,69	0,05	20,69	2,66
CV (%)	45,02	33,34	38,29	10,41	26,16	29,83
----- M 6410 IPRO - Experimento 2 -----						
TS	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AF	ns	ns	ns	ns	ns	*
TS x AF	*	ns	ns	ns	ns	ns
Média geral	1,63	2,66	10,13	0,06	29,63	2,53
CV (%)	42,55	28,18	33,18	10,72	26,74	29,14

FV - Fonte de variação; CV - Coeficiente de variação; \* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ); \*\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,01$ ); ns Não significativo.

Diante da complexa interação entre os fatores estudados e significância das variáveis analisadas e a fim de promover melhor entendimento do efeito geral da aplicação de níquel e molibdênio na qualidade de sementes de soja, realizou-se uma análise multivariada explorando separadamente os períodos de zero meses (Figura 1) e nove meses (Figura 2) de armazenamento. Consta-se que na análise de componentes principais, as 18 variáveis analisadas foram representadas por dois componentes principais, explicando uma variação total acumulada de 72,7% e 68,0%, respectivamente para os períodos de zero e nove meses de armazenamento.



**Figura 1.** Análise de componentes principais de variáveis relacionadas a produtividade, composição química das sementes (PTN - Teor de proteína; OLE - Teor de óleo; Nitrogênio - Teor de nitrogênio; Ni - Teor de níquel; Mo - Teor de molibdênio), qualidade fisiológica (PC - Primeira contagem; G - Germinação; VB - viabilidade; VG - vigor; EA - Envelhecimento acelerado; CE - Condutividade elétrica; EP - Emergência de plântulas; IVE - Índice de velocidade de emergência) e qualidade sanitária (incidência de *Aspergillus* spp., *C. kikuchii*, *Fusarium* spp.) de sementes de soja produzidas com a aplicação de níquel e molibdênio e armazenadas por zero (A) e nove (B) meses.

Para as sementes avaliadas logo após a colheita (0 meses de armazenamento), constata-se que a primeira componente (CP1) representou 60,9% da variabilidade dos dados (Figura 1), sendo que as variáveis que mais contribuíram para a variabilidade dos dados foi o vigor (VG: 0,299), germinação (G: 0,295), primeira contagem (PC: 0,292), emergência de plântulas (EP: 0,282), envelhecimento acelerado (EA: 0,276), teor de níquel (Níquel: 0,261), viabilidade (VB: 0,239), *C. kikuchii* (0,237), produtividade (-0,213), *Fusarium* sp. (-0,275), índice de velocidade de emergência (IVE: -0,291) e condutividade elétrica (CE: -0,293). A segunda componente (CP2) representou apenas 11,8% da variabilidade dos dados, com destaque para teor de óleo (OLE: 0,53), teor de proteína (PTN: 0,442), teor de nitrogênio (Nitrogênio: 0,417), teor de molibdênio (Mo: 0,278) e produtividade (-0,277).

A representatividade das variáveis estudadas indicam que o teor de níquel nas sementes de soja apresentou correlação positiva com seis variáveis de qualidade fisiológica (PC, G, EA, VB, VG, EP), porém, apresentou correlação negativa com produtividade, condutividade elétrica, índice de velocidade de emergência e incidência de *Fusarium* sp (Figura 1). Estes resultados sugerem que o enriquecimento de sementes com níquel pode contribuir para maior qualidade fisiológica de sementes de soja, conforme também foi constatado por Barcelos et al. (2017) para sementes de soja e Kutman et al. (2013) para sementes de trigo.

Com relação a segunda componente, constata-se que houve relação positiva entre os teores de nitrogênio, proteína, óleo e molibdênio nas sementes, evidenciando que as aplicações de molibdênio resultaram em alterações químicas nas sementes de soja. É

importante ressaltar novamente, que o teor de nitrogênio e proteína é dependente da eficiência da fixação biológica de nitrogênio (SOUZA et al., 2009; POLACCO et al., 2013; LAVRES et al., 2016), processo este dependente do fornecimento equilibrado de molibdênio (CAMPO et al., 2009; DOURADO NETO et al., 2012; CORTESE et al., 2019). Ressalta-se também que as variáveis referentes a composição química citada anteriormente, correlacionaram-se negativamente com produtividade. Tendência semelhante também foi observada para as variáveis referentes a qualidade fisiológica (PC, G, EA, VB, VG, EP) e ao teor de níquel na primeira componente, que também se correlacionaram negativamente com produtividade. Esta correlação negativa entre produtividade e composição química de sementes pode ser explicada ao “fator diluição”, também relatado por Maehler et al. (2003) e Souza et al. (2009). Portanto, embora haja correlação negativa entre produtividade e a composição química das sementes, especialmente o teor de níquel e molibdênio, não há efeito negativo da aplicação destes nutrientes sobre a variável produtividades, conforme observado na Tabela 5 e Tabela 7.

Ao avaliar a relação entre composição química e qualidade das sementes armazenadas por nove meses (Figura 1B), verifica-se que a primeira componente (CP1) representou 56,4% da variabilidade dos dados, com maior contribuição e correlação para as variáveis viabilidade (VB: 0,312), germinação (G: 0,308), envelhecimento acelerado (EA: 0,305), primeira contagem (PC: 0,304), *Aspergillus* (0,296), *Fusarium* sp. (0,293), teor de níquel (Níquel: 0,272) e vigor (VG: 0,245). Ainda na primeira componente (CP1), houve correlação entre produtividade (-0,201), índice de velocidade de emergência (IVE: -0,221), teor de nitrogênio (Nitrogenio: -0,234), teor de proteína (PTN: -0,236) e condutividade elétrica (CE: -0,291). É possível constatar relação semelhante entre a composição química e a qualidade das sementes antes e após o armazenamento, sendo que, o teor de níquel nas sementes teve alta correlação com a qualidade fisiológica das sementes, porém, constata-se que também houve correlação positiva com a incidência de *Aspergillus* e *Fusarium* sp.

Para a segunda componente (CP2) referente às sementes armazenadas por nove meses (Figura 1B), houve baixa representatividade da variabilidade dos dados (11,6%), com maior contribuição para as variáveis emergência de plântulas (EP: 0,409), produtividade (0,402), índice de velocidade de emergência (IVE: 0,236), teor de nitrogênio (Nitrogenio: -0,315), teor de proteína (PTN: -0,355) e teor de óleo (OLE: -0,530). Assim como foi observado para as sementes com zero meses de armazenamento (Figura 1A), estes dados evidenciam o efeito do “fator diluição” (Maehler et al., 2003; Souza et al., 2009), em que o aumento da produtividade promove a diluição do nitrogênio, proteína e óleo, reduzindo os teores nas sementes produzidas.

## CONCLUSÕES

Para a cultivar SYN 13610 o tratamento de sementes seguida de aplicações foliares associadas ou não com 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel e 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio resultam em maiores produtividades. As aplicações isoladas ou associadas de níquel no estágio V6 e molibdênio em R5.1 aumentam a produtividade de sementes da TMG 7062.

Ambas cultivares estudadas respondem de maneira semelhante ao enriquecimento das sementes com molibdênio, cujos maiores teores são obtidos com a aplicação de Ni, Co e Mo no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de 40 g de Mo ha<sup>-1</sup> no estágio R5.1.

O enriquecimento de sementes com níquel melhora a qualidade fisiológica, porém, houve correlação positiva com a incidência de *Aspergillus* e *Fusarium* sp. Por outro lado, o enriquecimento de sementes com molibdênio tem alta relação com o teor de proteína e nitrogênio nas sementes, os quais não contribuem com qualidade de sementes de soja.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas; À CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro; e a empresa Compass Minerals, pelo apoio financeiro e suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. D.; ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.37, p.367-378, 2013.
- BARCELOS, J. P. Q.; OSÓRIO, C. R. W. S.; LEAL, A. J. F.; ALVES, C. Z.; SANTOS, E. F.; REIS, H. P. G.; REIS, A. R. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, n.2, p.184-192, 2017.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, v.37, n.8, p.911-917, 1959.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 2009a. 399p.

- CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Research*, v.110, n.3, p.219-224, 2009.
- CARVALHO, E. R.; OLIVEIRA, J. A.; COSTA NETO, J.; SILVA, C. A. T.; FERREIRA, V. F. Doses e épocas de aplicação de manganês via foliar no cultivo de soja convencional e em derivada transgênica RR. *Bioscience Journal*, v.31, n.2, p.352-361, 2015
- CORTESE, D.; PIEROZAN JUNIOR, C.; WALTER, J. B.; CORTESE, D.; OLIVEIRA, S. M. Enrichment, quality, and productivity of soybean seeds with cobalt and molybdenum applications. *Journal of Seed Science*, v.41, n.2, p.144-150, 2019.
- DELARMELINO-FERRARESI, L. M.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.9, n.1, p.14-18, 2014.
- DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVINATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.1, 2741-2752, 2012.
- FARIA, L. A.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; SOUZA, C. M.; COLOMBO, G. A.; AFFÉRI, F. S. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.13, n.2, p. e5518, 2018.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L) Merrill). *Crop Science*, v.11, n.6, p.929-931, 1971.
- Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documentos 380).
- FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 108 p. (Documentos 406).
- Freitas, D. S.; Rodak, B. W.; Carneiro, M. A. C.; Guilherme, L. R. G. How does Ni fertilization affect a responsive soybean genotype? A dose study. *Plant Soil*, v.441, p.567-586, 2019.
- GEWEHR, E.; CORRÊA, O. O.; SUÑE, A. S.; DUARTE, G. B.; AMARANTE, L.; TUNES, L. V. M.; RODRIGUES, D. B. Treatment of soybean seeds with molybdenum and inoculant: nitrate reductase activity and agronomic performance. *Comunicata Scientiae*, v.10, n.1, p.185-194, 2019.
- HAN, C.; YIN, X.; HE, D.; YANG, P. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed, and its comparison with rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. *Plos One*, v.8, n.2, p.e56947, 2013.



HENNING, A. A. Guia prático para identificação de fungos mais frequentes em sementes de soja. Embrapa: Brasília, 2015. 33p.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. *Bragantia*, v.69, n.3, p.727-734, 2010.

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo, SP). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo, 1985. v.1 533 p.

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea- or nitrate-fed soybean. *Plant and Soil*, n.376, n.1-2, p.261-276, 2014.

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. *Plant and Soil*, n.363, n.1-2, p.61-75, 2013.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para produção da cultura. Londrina: Embrapa, 2018. 24 p. (Circular Técnica 136).

JACOB-NETO, J.; TAKETA, S.; SANTOS, A. V.; FRANCO, A. A. Soybean seed enrichment with molybdenum to supply the plant requirement. In: EMERICH, C.; KONDOROSI, A.; & NEWTON W. E. (Eds.). *Biological Nitrogen Fixation for the 21st Century*. Paris, 1997. p.630.

LAVRES, J.; FRANCO, G. C.; CÂMARA, G. M. S. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. *Frontiers in Environmental Science*, v.4, n.37, p.1-11, 2016.

MAJDA, C.; KHALID, D.; AZIZ, A.; RACHID, B.; BADR, A. S.; LOTFI, A.; MOHAMED, B. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Science of the Total Environment*, v. 661, p.654-663, 2019.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, v.2, n.2, p.176-177, 1962. <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/2/2/CS0020020176>

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, v.72, n.4, p.363-374, 2015.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; França Neto, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.3.1-3.24.

- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London: Elsevier, 2012. 643p.
- MATHIAS, V.; COELHO, C. M. M.; GARCIA, J. Soluble protein as indicative of physiological quality of soybean seeds. *Revista Caatinga*, v.32, n.3, p.730-740, 2019.
- MIYAZAKA, M. Análise química de tecido vegetal. In: Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.191-234.
- MORAES, R. M. A.; JOSÉ, I. C.; RAMOS, F. G.; BARROS, E. G. D.; MOREIRA, M. A. caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.5, p.725-729, 2006.
- OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. *Revista Ceres*, v.64, n.3, p.282-290, 2017.
- OLIVEIRA, C. O.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; PINTO, C. C.; SÁ, M. E. Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. *Pesquisa Agropecuário Tropical*, v.45, n.1, p.82-88, 2015.
- POLACCO, J. C., MAZZAFERA, P., & TEZOTTO, T. Opinion-nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. *Plant Science*, v.199-200, n. [s. n.], p. 79-90, 2013.
- POSSENTI, J. C.; VILLELA, F. A. Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, n.4, p.143-150, 2010.
- RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J; THOMSON, H.E.; BENSON, G.O. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1985. 20p. (Special Report, 53).
- ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v.60, n.3, p.215-222, 2017.
- SFREDO, G. J., & OLIVEIRA, M. C. N. Soja: Molibdênio e cobalto. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 36 p.
- SOUZA, L. C.; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.6, p.1586-1593, 2009.
- VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p.4.1-4.26.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nutrição mineral com níquel, cobalto e molibdênio via tratamento de sementes e/ou aplicações foliares, resultam em maiores produtividades de sementes de soja, especialmente quando associa níquel, cobalto e molibdênio no tratamento de sementes, 10 g ha<sup>-1</sup> de níquel entre os estádios V5 e V6 e 40 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio no estágio R5.1.

A aplicação de níquel e molibdênio resulta no enriquecimento das sementes com estes micronutrientes, principalmente para molibdênio quando aplicado no tratamento de sementes seguido da aplicação foliar de 40 g de Mo ha<sup>-1</sup> no estágio R5.1, associada ou não à aplicação de 10 g de Ni ha<sup>-1</sup> no estágio V5 a V6. Ressalta-se que a menor capacidade de enriquecimento de sementes com níquel pode estar associada ao estágio em que foi aplicado, havendo assim, a necessidade de estudar o efeito da aplicação deste micronutriente em diferentes estádios da cultura da soja.

Embora não tenha sido realizada nenhuma avaliação, foi possível constatar redução na incidência de oídio em folhas de soja nos tratamentos que receberam as aplicações de níquel, evidenciando um benefício do níquel na indução de resistência a doenças.

A análise de componentes principais permitiu avaliar o efeito positivo do enriquecimento de sementes com níquel sobre o vigor das sementes produzidas, bem como o benefício do enriquecimento com molibdênio sobre o teor de nitrogênio e proteína, evidenciando o benefício deste nutriente no metabolismo de nitrogênio na cultura da soja.

Diante das análises realizadas é possível evidenciar que a aplicação de níquel, cobalto e molibdênio no tratamento de sementes associada a aplicações foliares de níquel no estágio vegetativo e molibdênio no enchimento de grãos, aumentou a produtividade de sementes de soja, promoveu o enriquecimento de sementes com níquel e molibdênio e permitiu identificar efeito positivo do enriquecimento com estes micronutrientes na melhoria da qualidade fisiológicas de sementes de soja.