



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FORMA DE APLICAÇÃO DO NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM  
SISTEMA PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA**

JOSÉ VIEIRA SANTOS NETO

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2017

JOSÉ VIEIRA SANTOS NETO

**FORMA DE APLICAÇÃO DO NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM  
SISTEMA PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Solos, para obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientadora

Profª. Dra. Regina Maria Quintão Lana

Coorientador

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S237f  
2017 Santos Neto, José Vieira, 1986  
Forma de aplicação de níquel, cobalto e molibdênio em sistema  
plantio direto na cultura da soja / José Vieira Santos Neto. - 2017.  
59 p. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.  
Coorientador: José Luiz Rodrigues Torres.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Soja - Cultivo - Teses. 3. Química do solo -  
Teses. 4. Plantio direto - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II.  
Torres, José Luiz Rodrigues. III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

---

CDU: 631

JOSÉ VIEIRA SANTOS NETO

**FORMA DE APLICAÇÃO DO NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM  
SISTEMA PLANTIO DIRETO NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Solos, para obtenção do título de  
“Mestre”.

APROVADA em 15/03/2017

Dra. Atalita Francis Cardoso

Dr. Beno Wendling

Dr. Reginaldo de Camargo

PESQUISADORA

UFU

UFU

Profa. Dra. Regina Maria Quintão Lana

ICIAG – UFU

(Orientadora)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2017

**Aos meus pais, Wagner e Eleuza, aos meus irmãos, Diego e Carolina, e a  
minha noiva, Carísea, que sempre foram a minha base, meu suporte e meu  
incentivo nesta jornada.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me permitiu dar este importante passo em minha carreira.

A minha família, que sempre me motivou nos estudos e ofereceu toda a base necessária para que eu me tornasse o homem que sou hoje.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias pela oportunidade de prosseguir meus estudos.

A Capes pela concessão da bolsa e incentivo a pesquisa nacional.

A professora Regina Maria Quintão Lana que, mesmo entendendo todas as minhas limitações, não deixou de acreditar que eu seria capaz de finalizar esta etapa. Se mais uma vez eu tivesse que fazer a escolha de um orientador, ela seria a minha escolha.

Aos técnicos do LABAS, que sempre me orientaram em relação às análises. Em especial à Angélica, que sempre esteve presente para uma palavra amiga.

Ao corpo docente e demais funcionários do ICIAG, que foram primordiais para a minha formação acadêmica.

Aos colegas Vinícius, Luara e Atalita, pela ajuda em vários momentos deste trabalho.

A toda a equipe de campo do professor José Luiz Rodrigues Torres, do IFTM, que foi fundamental neste projeto.

Aos colegas da pós-graduação, pela interação, troca de conhecimentos e boa disposição em ajudar.

A todos que de alguma forma contribuíram com este projeto e com meu desenvolvimento profissional.

Meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

Resumo.....	i
Abstract.....	iii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. CAPÍTULO 1: NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO NA AGRICULTURA.....	2
2.1 2.1 Níquel na agricultura.....	2
2.1.1 Matéria orgânica.....	2
2.1.2 Textura do solo e teores de Ni.....	3
2.1.3 Óxidos de Fe e Mn .....	3
2.1.4 pH do solo e disponibilidade de Ni .....	4
2.1.5 Funções do Ni nas plantas .....	4
2.1.6 Deficiência de Ni no sistema solo-planta .....	5
2.1.7 Toxidez pelo Ni nas plantas .....	6
2.1.8 Fontes de Ni para utilização na agricultura .....	7
2.1.9 Antagonismo e sinergismo do Ni com outros nutrientes.....	7
2.2 2.2 Cobalto na Agricultura .....	7
2.2.1 Importância do Co nas plantas .....	8
2.2.2 Antagonismo e sinergismo do Co com outros nutrientes.....	8
2.2.3 Fontes de Co para utilização na agricultura .....	9
2.2.4 Recomendação de Co para a cultura da soja .....	9
2.3 2.3 Molibdênio na Agricultura.....	9
2.3.1 Importância do Mo .....	10
2.3.2 Antagonismo e sinergismo de Mo com outros nutrientes.....	10
2.3.3 Fontes de Mo para utilização na agricultura .....	10
2.3.4 Recomendação de Mo para a cultura da soja .....	11
2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	11
3. CAPÍTULO 2: TEORES FOLIARES E ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DRIS PARA SOJA EM FUNÇÃO DE MODOS E DOSES DE APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO DE TRÊS ANOS .....	15
3.1 INTRODUÇÃO .....	16
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
3.4 CONCLUSÕES .....	25

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
4. CAPÍTULO 3: TEORES FOLIARES E ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DRIS PARA SOJA EM FUNÇÃO DE MODOS E DOSES DE APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO DE QUINZE ANOS .....	29
4.1 INTRODUÇÃO .....	31
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	32
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.4 CONCLUSÕES .....	42
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
5. CAPÍTULO 4: MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM SOLOS DO CERRADO. ....	47
CHAPTER 4: MICRONUTRIENTS IN SOYBEAN CULTURE IN DIRECT PLANTAINING SYSTEMS IN CLOSED SOILS .....	47
5.1 INTRODUÇÃO .....	49
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	50
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
5.4 CONCLUSÕES .....	56
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR (%), Uberaba – 2016.
- Tabela 2.** Caracterização química do solo na área experimental de soja, Uberaba – 2016.
- Tabela 3.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetidos ao tratamento vegetativo em área de 3 anos.
- Tabela 4.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade ( $> 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.
- Tabela 5.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $> 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) e ( $< 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.
- Tabela 6.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.
- Tabela 7.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetidas ao tratamento vegetativo em área de 3 anos sob sistema plantio direto.
- Tabela 8.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade ( $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento vegetativo em área de 3 anos sob sistema plantio direto.
- Tabela 09.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento vegetativo em área de 3 anos sob sistema plantio direto.
- Tabela 10.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento vegetativo em área de 3 anos sob sistema plantio direto.
- Tabela 11.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR (%).
- Tabela 12.** Caracterização química do solo na área experimental de soja.
- Tabela 13.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetidas ao tratamento vegetativo em área de 15 anos.
- Tabela 14.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade ( $> 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.
- Tabela 15.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $> 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) e ( $< 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.
- Tabela 16.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

**Tabela 17.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetidas ao tratamento de vegetativo em área de 15 anos.

**Tabela 18.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade ( $> 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento vegetativo área de 15 anos.

**Tabela 19.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $> 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) e ( $< 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

**Tabela 20.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

**Tabela 21.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR (%).

**Tabela 22.** Caracterização química do solo na área experimental de soja na área com plantio direto a três anos.

**Tabela 23.** Caracterização química do solo na área experimental de soja na área com plantio direto a quinze anos.

**Tabela 24.** Produtividade de grãos ( $\text{t ha}^{-1}$ ), de doses de NiCoMo aplicadas em estágio vegetativo V3 na cultura da soja testados em dois sistemas plantio direto.

**Tabela 25.** Produtividade de grãos ( $\text{t ha}^{-1}$ ), de doses de NiCoMo aplicadas em tratamentos de sementes na cultura da soja testados em dois sistemas plantio direto

## RESUMO

SANTOS NETO, JOSÉ VIEIRA. **Forma de aplicação do Níquel, Cobalto e Molibdênio em sistema plantio direto na cultura da soja**, 59 p., 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

A utilização de micronutrientes essenciais ao processo de fixação biológica de nitrogênio é uma prática que está incorporada ao manejo nutricional da soja. Com a inclusão do níquel na lista de micronutrientes, trabalhos estão sendo realizados para identificar o posicionamento mais adequado ao fornecimento deste e dos demais nutrientes envolvidos no processo. Assim, os objetivos do presente trabalho foram identificar a forma de aplicação e doses de níquel, cobalto e molibdênio no sistema de plantio direto, avaliar o efeito nas características produtivas da soja e estabelecer normas de referência DRIS para a cultura da soja em áreas de três e 15 anos de plantio direto. Os experimentos foram implantados em áreas de três e 15 anos de sistema plantio direto no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba – MG, com altitude de 795 m, no período de dezembro de 2015 a abril de 2016. A nutrição foliar foi feita nas doses de 140, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup>, com um fertilizante foliar à base de níquel, cobalto e molibdênio. A amostragem foliar e estabelecimento dos índices DRIS foram feitas através da coleta da primeira folha madura a partir dos trifólios superiores, realizada no estágio fenológico R1. Calculou-se o índice de balanço nutricional (IBN) pelo somatório, em módulo, dos índices nutricionais DRIS e o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm). Para a interpretação do estado nutricional, adotaram-se três classes: insuficiente, equilibrado ou excesso. Realizou-se a colheita dos grãos por parcela, estimando as produtividades em t ha<sup>-1</sup>. Os dados de cada um dos ensaios individuais, para os dois sistemas de plantio direto, foram submetidos à análise de variância. Em seguida, verificou-se a semelhança dos quadrados médios do resíduo e a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual. Sendo esse inferior a sete, permitiu a análise conjunta, fornecendo informações para se determinar a dose de NiCoMo a ser utilizada na cultura de soja. A aplicação de micronutrientes no tratamento vegetativo proporciona maior equilíbrio nutricional das plantas no sistema plantio direto de três anos, sendo a dose de 280 g ha<sup>-1</sup> do níquel, cobalto e molibdênio no tratamento vegetativo que proporcionou maior produtividade de grãos de soja. As dosagens de 200

e 280 g ha<sup>-1</sup> do NiCoMo, no tratamento de sementes e vegetativo, respectivamente, proporcionam maior produtividade de grãos e plantas mais equilibradas nutricionalmente no plantio direto aos 15 anos. A produtividade da soja é dependente de fatores, como doenças, condições climáticas, tipo de cultivar e época de semeadura.

Palavras-chave: *Glycine max* L., micronutrientes, metabolismo do nitrogênio, manejo nutricional.

---

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana  
Coorientador: José Luiz Rodrigues Torres

## ABSTRACT

SANTOS NETO, JOSÉ VIEIRA. **The form of application of nickel, cobalt and molybdenum in no-tillage system in the soybean crop**, 59 p., 2017. Dissertation (Master's Degree in Agronomy/Soil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil

The use of micronutrients for the process of biological nitrogen fixation is a practice that is embedded in the nutritional management of soybean. With the inclusion of nickel in the list of nutrients, works have been made to identify the position most suitable for the delivery of these and other nutrients involved in the process. Thus, the objectives of this study were to identify the form of application and doses of nickel, cobalt and molybdenum in no-tillage system, evaluate the effect on productive traits of soybean and establish standards of reference DRIS for the culture of soybean in areas of three and 15 years of direct planting. The experiments were implanted in areas of three and 15 years of no-tillage system in the Federal Institute of Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba, Minas Gerais state, with an altitude of 795 m in the period from December 2015 to April 2016. The leaves' nourishment was made in doses of 140, 200, 240 and 280 g ha<sup>-1</sup> with a foliar fertilizer based on nickel, cobalt and molybdenum. The foliar sampling and establishment of indices DRIS were made through the collection of the first ripe leaf from the upper leaflets, held in the phenological stage R1. We calculated the index of nutritional balance (IBN) by the sum, in module, for nutritional indices DRIS and the index of nutritional balance medium (IBNm). For the interpretation of nutritional status, were adopted three classes: insufficient, balanced or surplus. The harvesting of grain were made per plot, estimating the yields in t ha<sup>-1</sup>. The data from each of the individual test, for the two systems of direct planting, were subjected to analysis of variance and then there was the similarity of the mean squares of the residue and the ratio between the highest and the lowest mean square was residual with less than seven, allowing the joint analysis, providing information to determine the dose of NiCoMo to be used in soybean crop. The application of micronutrients in the treatment of vegetation provides greater nutritional balance of plants under no-tillage system for three years, and the dose of 280 g ha<sup>-1</sup> of nickel, cobalt and molybdenum in the treatment of vegetation resulted in higher grain yield of soybean. The dosages of 200 and 280 g ha<sup>-1</sup> of NiCoMo on treatment of seeds and vegetative, respectively, provide greater grain yield and plant more nutritionally balanced in direct planting at 15 years. Soybean yield is dependent on factors such as diseases, climatic conditions, type of cultivation and sowing time.

Keywords: *Glycine max* L., micronutrients, nitrogen metabolism, nutritional management

---

Supervising Committee: Regina Maria Quintão Lana  
Coadvisor: José Luiz Rodrigues Torres

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja é atualmente uma das principais culturas de interesse agrícola, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Na safra 2015/2016, a cultura ocupou uma área de mais de 33 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95.753.265 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de 2,87 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

No Cerrado, o Sistema Plantio Direto (SPD) tem-se caracterizado pelo cultivo de verão com soja ou milho, sucedidos no outono pela rotação de cultura por milho, sorgo ou milheto. Alternativamente, é possível a realização da semeadura nas primeiras chuvas (antecipada), produzindo palhada para a semeadura da cultura comercial em novembro.

As características físicas, químicas e biológicas do solo estão relacionadas aos fatores que colaboram para o aumento da produtividade da soja em SPD (CALEGARI et al., 1998).

Nas leguminosas, como a soja, níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo) exercem influência direta no processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), pois estão envolvidos com a enzima hidrogenase (SELLSTEDT; SMITH, 1990). O Ni tem aumentado a atividade da hidrogenase em bacterióides isolados dos nódulos (KLUCAS et al., 1983). Ureta et al. (2005) demonstraram que baixo nível de Ni nos solos agrícolas pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica e *Rhizobium leguminosarum*.

Alguns trabalhos demonstram que o uso de Ni proporciona melhoria nas plantas. Autores como Oliveira (2013), constataram aumento da atividade da urease em folhas de alface com a utilização de doses de níquel, e Rodak et al. (2012) observaram, com o níquel, também um incremento na produção da soja. Todavia, Alovisei et al (2011) relataram aumento de Ni nas folhas ao aplicar fertilizantes à base deste, porém não verificaram aumento na produção da soja.

Em vista disso, este trabalho teve como objetivo o estudo de doses de níquel, cobalto e molibdênio em diferentes modos de aplicação na cultura da soja em áreas de sistema plantio direto com três e 15 anos de implantação.

## **2. CAPÍTULO 1: NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO NA AGRICULTURA**

### **2.1 Níquel na agricultura**

O níquel (Ni) é um elemento que preenche o critério direto de essencialidade, por ser ativador da urease, enzima universal nas plantas, que desdobra a ureia em gás carbônico e amônia, o que o torna diretamente relacionado ao metabolismo do nitrogênio (N) nas plantas. Esta descoberta, demonstrada por Eskew et al. (1984), promoveu o Ni de elemento tóxico para nutriente essencial.

Em 2007, o Ni foi inserido na legislação brasileira de fertilizantes na Instrução Normativa N° 05, a qual define que os fertilizantes mistos ou complexos que contenham micronutrientes devem apresentar, no mínimo, 60% do teor total solúvel nos seguintes extratores: solução de ácido cítrico a 2% para boro (B), cobalto (Co), ferro (Fe), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn); solução de Citrato Neutro de Amônia (CNA) + água (relação 1:1) para cobre (Cu) e manganês (Mn) (BRASIL, 2007).

Estudos a respeito da utilização do Ni em programas de adubação ainda se encontram em fase inicial e concentram principalmente na cultura da soja (*Glycine max* L.), principal *commodity* produzida no Brasil. Logo, são necessárias pesquisas a respeito da função do Ni no metabolismo das plantas, na disponibilidade e interações com outros nutrientes que ocorrem no solo e na forma de utilização na agricultura.

A distribuição de Ni no perfil do solo está relacionada com a presença da matéria orgânica, textura do solo, presença dos óxidos amorfos e das frações de argila, variável com o tipo de solo. Geralmente, observa-se uma estreita relação entre Ni nos solos, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e teor de argila (SENWO; TAZISONG, 2004). Outros fatores também influenciam na disponibilidade do Ni no solo, pH e as reações de complexação e competições pelos sítios de adsorção com outros nutrientes.

#### **2.1.1 Matéria orgânica**

A forma disponível do níquel nos solos é  $\text{Ni}^{2+}$ , e pelo fato da conformação eletrônica e eletronegatividade dele serem similares ao cátion de cobre,  $\text{Cu}^{2+}$ , isto permite ao Ni formar complexos com a matéria orgânica do solo comparável em estabilidade ao cobre (Cu). Sendo assim, o acúmulo de Ni na matéria orgânica do solo é

pronunciado e a ligação com ligantes orgânicos “leves” que contenham enxofre (S) e N é favorecida (McBRIDE, 1994).

A união do Ni com ligantes orgânicos pode ser muito forte, chegando a afetar bastante a sua mobilidade. Por outro lado, a remobilização do nutriente parece ser possível na presença de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos. Assim, Ni pode ser bastante móvel em solos com capacidade de complexação alta (por exemplo, solos orgânicos ricos e solos poluídos) (TEJADA et al., 2008).

A quantidade de Ni presente na matéria orgânica do solo é baixa, apenas 0,59 mg kg<sup>-1</sup> e 0,57 mg kg<sup>-1</sup> do total de 35 mg kg<sup>-1</sup> de Ni no solo é encontrado na fração de ácidos húmicos e fúlvicos, o que representa apenas 1,7 e 1,6% dos totais, respectivamente (SMITH, 2009).

### **2.1.2 Textura do solo e teores de Ni**

A classe textural é um dos fatores que pode afetar os teores de Ni disponíveis no solo. Rodak et al. (2014) verificaram que os teores de Ni disponíveis apresentaram relação direta com os teores de argila, por consequência, a relação foi altamente negativa para a fração areia. Resultados semelhantes foram verificados por Caridad-Cancela et al. (2005) e Rajaie et al. (2008), que observaram que as partículas mais finas têm concentrações mais altas de Ni devido à maior área superficial específica.

### **2.1.3 Óxidos de Fe e Mn**

A maior superfície específica da fração argila possibilita a adsorção do Ni, principalmente com óxidos de Fe e Mn, proporcionando maior efeito tamponante do nutriente na solução do solo, logo, contribuindo para a ocorrência de maiores valores disponíveis de Ni (ALVES et al., 2011).

Óxidos de Fe contêm Ni na faixa de 100 a 170 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que os agregados de Fe-Mn acumulam até 680 mg kg<sup>-1</sup> de Ni. Já os óxidos de Mn acumulam Ni na faixa de 39 a 4.900 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2011). No entanto, os óxidos de Mn constituem menos de 15 a 30% do total de Ni. A fração de Ni no solo proveniente dos óxidos de Fe e Mn encontram-se na forma mais facilmente disponível para as plantas (NORRISH, 1975).



A ligação com óxidos de Fe e Mn é altamente dependente do pH, pois, a forma preferencial de adsorção é  $\text{NiOH}^+$ . A presença de matéria orgânica compete pela adsorção do elemento, diminuindo a retenção do nutriente pela fração mineral do solo, porém, a ligação formada é de baixa energia (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2011), o que pode proporcionar elevados índices de dessorção.

#### **2.1.4 pH do solo e disponibilidade de Ni**

O pH é o principal atributo químico que influencia a distribuição do Ni na fase sólida e solúvel de solos naturais.

Em condições de altos valores de pH, verifica-se baixa disponibilidade de Ni. O aumento do pH faz com que haja maior adsorção de Ni, valores acima de 6,5 resulta em redução drástica na disponibilidade deste nutriente, além de promover deslocamento de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) para a solução em proporções similares à da adsorção de Ni (SIEBIELEC et al., 2006; CARIDAD-CANCELA et al., 2005).

#### **2.1.5 Funções do Ni nas plantas**

Dentre outros aspectos positivos do Ni, destacam-se a sua influência no complexo enzimático hidrogenase, que aumenta a eficiência da fixação do N por leguminosas (KLUCAS, 1983) e a participação na síntese de fitoalexinas, aumentando a resistência das plantas às doenças (WALKER et al., 1985).

O Ni é importante catalisador de enzimas fundamentais em rotas bioquímicas nas plantas, afetando a ciclagem de carbono C e N e também dos metabólitos secundários. São conhecidas como dependentes do Ni as enzimas: urease, monóxido de carbono desidrogenase, desidrogenase de Ni, metil coenzima M redutase, superóxido dismutase, NiFe hidrogenases, acetil coenzima A sintase, RNase-A e provavelmente muitas outras ainda desconhecidas (KRAJEWSKA, 2009).

Nas leguminosas, como a soja, o Ni exerce influência direta no processo de (FBN), pois é constituinte da enzima hidrogenase (SELLSTEDT; SMITH, 1990), (KLUCAS et al., 1983). Ureta et al. (2005) demonstraram que baixo nível de níquel nos solos agrícolas pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum*, logo, o fornecimento adequado de Ni possibilita o aumento da

atividade desta enzima, potencializando a nodulação e favorecendo a FBN (KLUCAS et al., 1983; URETA et al., 2005).

Nas leguminosas o transporte do nitrogênio (N) advindo da FBN é realizado por ureídeos, que são compostos do metabolismo secundário das plantas, os quais catalisam, no final do transporte, a molécula da ureia, que é metabolizada posteriormente pela enzima urease, da qual o Ni faz parte do grupo prostético (McCLURE; ISRAEL, 1979).

O Ni também exerce outras funções nas plantas, como: interferência no metabolismo de aminoácidos e de ácidos orgânicos (BAI et al., 2006), na produção de etileno (SINGH et al., 1994), na germinação das sementes (BROWN et al., 1987), na resistência das plantas a doenças (WELLS; WOOD, 2008), como componente estrutural da enzima hidrogenase (EVANS et al., 1987) e na conservação pós-colheita de frutos (ZHANG et al., 2004).

#### **2.1.6 Deficiência de Ni no sistema solo-planta**

A deficiência de Ni pode ocorrer devido aos baixos teores no solo ou induzida por outros fatores, tais como interações negativas com outros nutrientes, menor disponibilidade após aplicações excessivas de calcário, que elevam o pH acima de 6,5.

O Ni, na forma solúvel, é rapidamente absorvido pelas raízes e apresenta grande mobilidade na planta. A absorção do Ni é um processo ativo, sendo possível a utilização de canais não específicos e a participação de metalóforos, que são aminoácidos não-proteicos com propriedades ligantes que prendem os micronutrientes positivos. Mais de 90% do Ni total das raízes e folhas de soja estão em formas solúveis. Citrato e malato podem servir para o transporte no xilema. No floema, a mobilidade é alta, sendo que na senescência, até 70% do Ni acumulado na parte aérea pode ser deslocado para as sementes (LEVY, 2013), afetando assim a qualidade de sementes.

O sintoma de deficiência de Ni é visualizado quando a ponta das folhas novas apresenta manchas escuras e arredondadas, dando-lhes um aspecto parecido com o da orelha do rato, nome dado ao sintoma. Já o sintoma visual de toxicidade de Ni pode ser confundido com deficiências de outros elementos essenciais, tais como as cloroses causadas por Mn e Fe. (LEVY, 2013).

Na soja, o sintoma de deficiência de Ni caracteriza-se por necrose na extremidade dos folíolos, devido ao acúmulo de ureia e concentrações tóxicas, consequência da baixa atividade da urease (REIS et al. 2014).

### **2.1.7 Toxidez pelo Ni nas plantas**

Algumas plantas são capazes de tolerar altas concentrações de Ni, consideradas hiperacumuladoras (ZEITOUNI, 2003). A tolerância nestas hiperacumuladoras é alcançada principalmente por complexação de Ni com ácidos orgânicos, ácido málico e cítrico. A estabilidade dos complexos de ácido cítrico é cerca de 150 vezes maior do que aqueles formados com ácido málico. Abaixo da copa das árvores hiperacumuladoras, há uma proporção mais elevada de bactérias resistentes ao Ni do que para áreas fora do dossel, indicando elevada taxa de ciclagem do Ni no microecossistema destas árvores (SCHLEGEL et al., 1991).

A fitotoxicidade do Ni é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (KRUPA et al., 1993).

Os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estádios iniciais de toxicidade, porém, nos estádios moderados e agudos, a toxidez produz clorose, geralmente semelhante aos sintomas de deficiência de Fe.

Diversos são os efeitos tóxicos do excesso de níquel, podendo-se citar: aumento do conteúdo de pectina em raízes de aveia (CROOKE, 1956); diminuição na concentração de clorofila em folhas de café (PAVAN; BINGHAM, 1982) e de milho (BACCOUCH et al., 1998); diminuição da atividade da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP) (MORGUTTI et al., 1984); aumento da atividade da enzima peroxidase e distúrbios mitóticos nas pontas das raízes de algumas plantas (MISHRA; KAR, 1974); interferência na absorção de nutrientes (CROOKE; INKSON, 1955; PALACIOS et al., 1998)

De maneira geral, a sintomatologia da toxidez inclui clorose, devido à menor absorção de Fe, crescimento reduzido das raízes e da parte aérea, em casos mais severos, deformação de várias partes da planta e manchas peculiares nas folhas (CHEN et al., 2009). A alta concentração de Ni pode também inibir a produção de matéria seca e biossíntese de clorofila (AHMED et al., 2010).

### **2.1.8 Fontes de Ni para utilização na agricultura**

As fontes utilizadas para a aplicação de Ni podem variar entre sais, como o sulfato, nitrato e cloreto, até formulações com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), como quelatos. No Brasil, a Instrução Normativa de 05 de fevereiro de 2007, que controla o registro de fertilizantes e corretivos minerais, apresenta uma lista de produtos para aplicação via solo e foliar e estabelece a concentração mínima para registro. Produtos para aplicação via tratamento de sementes devem conter ao menos um micronutriente, sem concentração mínima (BRASIL, 2007).

As principais fontes de Ni disponibilizadas no mercado de fertilizantes são: Cloreto de Ni (24% de Ni – solúvel), Nitrato de Ni (20% de Ni – solúvel), Sulfato de Ni (22% de Ni – solúvel), Carbonato de Ni (49% de Ni – insolúvel), Quelatos de Ni (Mínimo 2% de Ni – solúvel), Silicato de Ni (Mínimo 0,1 de Ni total – insolúvel).

### **2.1.9 Antagonismo e sinergismo do Ni com outros nutrientes**

Embora o Ni seja essencial para as plantas, o excesso pode provocar a deficiência de outros nutrientes, prejudicando o desenvolvimento delas. Plantas de tomate cultivadas em solução nutritiva contendo de 0 a 510  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Ni, reduziram o teor de P nas raízes e folhas das plantas. O Ni restringiu a absorção do P, prejudicou a absorção de cátions bivalentes e promoveu maior absorção de potássio (K) (PALACIOS et al., 1998).

Em aveia, a aplicação de 42,50  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Ni, via solução nutritiva, reduziu a absorção de N, P, K e Mg e aumentou a absorção de Ca.

## **2.2 Cobalto na Agricultura**

Este elemento benéfico é absorvido pelas raízes como  $\text{Co}^{2+}$  e apresenta alta mobilidade no floema. Plantas que dependem da fixação do  $\text{N}_2$ , como as leguminosas, mas que têm acesso ao amônio, nitrato ou aminoácidos, não dependem de Cobalto (Co). Por outro lado, quando essas dependem deste processo e não têm acesso a esses compostos nitrogenados, o Co se torna essencial para o seu crescimento (AHMED; EVANS, 1961), como é o caso da cultura da soja. Segundo Furlani (2004), o teor de Co nas plantas varia de 0,05 a 0,30  $\text{mg kg}^{-1}$ , em que as plantas leguminosas apresentam

maior concentração em relação às poaceas. Nas leguminosas, o teor de Co nas sementes tem grande importância em condições de solos que apresentam deficiência deste elemento.

Por ser um micronutriente catiônico bivalente, como o Ni, a distribuição de Co no perfil do solo segue o mesmo comportamento que esse nutriente, estando relacionada à presença da matéria orgânica, textura do solo, presença dos óxidos amorfos e das frações de argila, variável com o tipo de solo. Outros fatores também influenciam na disponibilidade do Co no solo, como pH e reações de complexação e competições pelos sítios de adsorção com outros nutrientes.

### **2.2.1 Importância do Co nas plantas**

A importância do Co está associada principalmente ao processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico, devido ao seu papel como componente da coenzima cobamida (vitamina B12), precursora de leghemoglobina, que determina a atividade dos nódulos e, portanto, é indispensável ao processo biológico (SOMASEGARAN; HOBEN, 1994; MENGEL; KIRKBY, 2001). Assim, deficiência de Co pode ocasionar deficiência de N na soja, devido à baixa fixação do N<sub>2</sub>. A deficiência de cobalto causa clorose total, seguida de necrose nas folhas mais velhas, devido à deficiência de nitrogênio (EMBRAPA, 2010).

### **2.2.2 Antagonismo e sinergismo do Co com outros nutrientes**

Quando em excesso, o Co apresenta interação negativa com ferro e, por isso, o sintoma de toxicidade que causa é semelhante à deficiência deste nutriente, pois a planta intoxicada apresenta folhas cloróticas na parte superior e atrofiamento.

O uso de Co está sendo recomendado junto ao de Mo, devido a sua importância na fixação biológica do N<sub>2</sub> atmosférico através do *Bradyrhizobium*, apesar de não ter influenciado, em geral, no aumento da produção de grãos nos testes efetuados. Entretanto, caso não haja reserva desse nutriente no solo, pode ocorrer resposta a sua aplicação, como aconteceu no Mato Grosso do Sul (CAJU et al., 2008).

### **2.2.3 Fontes de Co para utilização na agricultura**

Assim como ocorre com o Ni, as fontes utilizadas para a aplicação de Co podem variar entre sais, como o sulfato, nitrato e cloreto, até formulações com EDTA, como quelatos. O Co pode ser fornecido sob as formas de cloreto (25% de Co – solúvel), sulfato (22% de Co – solúvel), nitrato de cobalto (20% de Co – solúvel) ou em fontes quelatizadas. Contudo, cuidado especial deve ser dado ao seu fornecimento, pois o excesso resulta facilmente em toxicidade.

### **2.2.4 Recomendação de Co para a cultura da soja**

A recomendação para aplicação de Co na cultura da soja em tratamento de sementes é de 2 a 3 g ha<sup>-1</sup> ou aplicação em, no máximo, 15 dias após a semeadura, próximo ao estágio fenológico V3 (EMBRAPA, 2010).

## **2.3 Molibdênio na Agricultura**

O molibdênio é um componente da enzima nitrogenase e, portanto, essencial ao processo de fixação de nitrogênio. Tal micronutriente é absorvido predominantemente como MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, quando o pH do meio é maior ou igual a 5 e apresenta média mobilidade no floema. Este micronutriente é exigido, sobretudo, no início do desenvolvimento da cultura da soja, de modo que 58% da quantidade exigida é absorvida nos primeiros 45 dias de cultivo (EMBRAPA, 2010).

O fator que mais afeta a disponibilidade desse micronutriente é a acidez do solo.. Por ser aniônico, seu comportamento difere dos outros micronutrientes essenciais ao processo de FBN, por ser aniônico, ou seja, com o aumento do pH, tem-se o aumento em sua disponibilidade, assim, solos corrigidos tendem a apresentar teores adequados desse nutriente (NOVAIS, et. al, 2007). A textura do solo também consiste em um importante fator na disponibilidade de molibdênio, solos arenosos tendem a apresentar deficiência em Mo, diferentemente de solos com textura média a argilosa (NOVAIS, et. al, 2007).

### **2.3.1 Importância do Mo**

O molibdênio é um importante nutriente no metabolismo do N, por ser cofator das enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfeto. Está intimamente relacionado com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas.

A redução do nitrato a nitrito é catalisada pela enzima adaptativa nitrato redutase, que requer a presença de flavina (NAD) e Mo, durante a reação. Esse papel do Mo faz com que, em plantas noduladas, a deficiência do nutriente resulte em sintomas semelhantes aos de N<sub>2</sub>.

Os sintomas de desordens nutricionais em plantas cultivadas em solos deficientes ou ácidos caracterizam-se por plantas amareladas e plantas jovens retorcidas, com manchas necróticas nas margens dos folíolos. O mesmo quadro apresenta, ainda, sintomas semelhantes à deficiência de N, induzida pela deficiência de Mo, as quais causam a clorose total das folhas mais velhas ou de meia idade fisiológica, seguida de necrose, como consequência da inibição da atividade da nitrato redutase e subsequente acúmulo de nitrato.

Deficiências de CoMo têm sido relatadas com maior frequência, tornando-se um dos principais fatores limitantes do FBN na cultura da soja.

### **2.3.2 Antagonismo e sinergismo de Mo com outros nutrientes**

O Mo afeta o metabolismo do Cu, em animais sob pastejo em forragem com alto teor de Mo, apresentando deficiência de Cu, levando à molibdenose (NOVAIS et. al., 2007). Quando em desequilíbrio no solo, o Mo pode afetar a absorção de Fe, levando à deficiência deste micronutriente.

### **2.3.3 Fontes de Mo para utilização na agricultura**

Assim como o Ni e o Co, as fontes utilizadas para a aplicação de Mo podem variar entre sais até formulações com EDTA, como quelatos. O Mo pode ser fornecido nas formas de molibdato de sódio (39% de Mo – solúvel), molibdato de amônio (54% de Mo – solúvel), ácido molíbdico ou trióxido de molibdênio, além de fontes quelatizadas.

### 2.3.4 Recomendação de Mo para a cultura da soja

A recomendação para aplicação de Mo na cultura da soja em tratamento de sementes é de 12 a 25 g ha<sup>-1</sup> ou aplicação em no máximo 15 dias após a semeadura, próximo ao estágio fenológico V3 (EMBRAPA, 2010).

## 2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S.; EVANS, H.J. The essentiality of cobalt for soybean plants grown under symbiotic conditions. **Proc. Nat. Acad. Sci. USA**, v. 4, n.24-36, 1961.
- ALOVISI, A.M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI, E.; SANTOS, M.J.G.; ALOSIVI, A.A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**. v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011.
- ALVES, S.; TRANCOSO, M. A.; GONÇALVES, M. L. S.; SANTOS, M. M. C. A nickel availability study in serpentinised areas of Portugal. **Geoderma**, Amsterdam, v. 164, p. 155-163, 2011.
- BACCOUCH, S.; CHAOUI, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 3, p. 577-588, 1998.
- BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 140, n. 2, p. 433-443, 2006.
- BRASIL. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 maio de 2007. Seção 1, p. 8.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.
- CAJU, J.; YUYAMA, M.M.; SUZUKI, S.; CAMACHO, S.A. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2008**. Rondonópolis: Fundação MT, 2008. 254 p. (Fundação MT. Boletim de pesquisa de soja, 12).
- CALEGARI, A.; HECKLER, J. C.; SANTOS, H. D.; PITOL, C.; FERNANDES, F. M.; HERNANI, L. C.; GAUDÊNCIO, C. D. A. Culturas, sucessões e rotações. **Sistema plantio direto - o produtor pergunta a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p. 59-80.
- CARIDAD-CANCELA, R.; PAZ-GONZÁLEZ, A.; ABREU, C.A. Total and extractable nickel and cadmium contents in natural soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p.241-252, 2005.



CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. **CLEAN–Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 37, n. 4-5, p. 304-313, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016.

Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_09\\_15\\_18\\_32\\_boletim\\_12\\_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf)>. Acesso em: 12 de fev. 2017.

CROOKE, W. M.; INKSON, R. H. E. Relation between nickel toxicity and major nutrient supply. **Plant and Soil**, The Hague, M. Nijhoff, v. 49, n. 1, p. 1-15, 1955.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil: 2010. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984.

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**, Palo Alto, v. 41, p. 335-361, 1987.

FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. P. 40-75.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements from soil and plant**. 4. ed. New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011. 576 p.

KLUCAS, R. V. Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of USA**, Washington, v. 80, p. 2253-2257, 1983.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, Amsterdam, v.59, p.9-21, 2009.

KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYŃSKI, T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, Germany, v. 142, n. 6, p. 664-668, 1993.

LEVY, C. de C.B. **Níquel em soja: doses e formas de aplicação**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – instituto Agrônômico de Campinas.

McBRIDE M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.

MCCLURE, Peter R.; ISRAEL, Daniel W. Transport of nitrogen in the xylem of soybean plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 64, n. 3, p. 411-416, 1979.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **The Botanical Review**, v. 40, n. 4, p. 395-449, 1974.

MORGUTTI, S.; SACCHI, G. A.; COCUCCHI, S. M. Effects of Ni<sup>+2</sup> on proton extrusion, dark CO<sub>2</sub> fixation and malate synthesis in maize roots. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 60, n. 1, p. 70-74, 1984.

NORRISH, K. The geochemistry and mineralogy of trace elements, in Trace Elements in Soil-Plant- Animal Systems, Nicholas, D. J. D. and Egan, A. R., eds. **Academic Press**, New York, v.55, 1975.

NOVAIS, R. F. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 133-204.

OLIVEIRA, T. C.; FONTES, R. L. F.; REZENDE, S. T. D.; HUGO, V.; ALVAREZ, V. Effects of nickel and nitrogen soil fertilization on lettuce growth and urease activity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 698-706, 2013.

PALACIOS, G. et al. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York v. 21, n. 10, p. 2179-2191, 1998.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais pesados em plantas: II. Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 323-328, 1982.

RAJAIE, M.; KARIMIAN, N.; YASREBI, J. Nickel transformation in two calcareous soil textural classes as affected by applied nickel sulfate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, p. 344-351, 2008.

REIS, A. R.; RODAK, B.W.; PUTTI, F.F.; MORAES, M.F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações Agronômicas, IPNI**, Piracicaba, v.147, p.10-24, 2014.

SCHLEGEL, H. G.; COSSON, J. P.; BAKER, A. J. M. Nickel-hyperaccumulating plants provide a niche for nickel-resistant bacteria. **Plant Biology**, New York, v. 104, n. 1, p. 18-25, 1991.

SELLSTEDT, A.; SMITH, G. D. Nickel is essential for active hydrogenase in free-living frankia isolated from casuarina. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 137-140, 1990.

SIEBIELEC, G.; CHANE, R. L. Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 1-17, 2006.

SENWO Z.N.; TAZISONG I. A. Metal contents in soils of Alabama. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.35, p. 2837–2848, 2004.

SINGH, Z.; SINGH, L.; ARORA, C.L.; DHILLON, B.S. Effect of cobalt, cadmium and nickel as inhibitors of ethylene biosynthesis on floral malformation, yield and fruit quality of mango. **Journal of Plant Nutrition**, Germany, v.17, n.10, p.1659-1670, 1994.

SMITH, S. R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International**, Oxford, v. 35, p. 142-156, 2009.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J. **Handbook for rhizobia**: methods in legume-rhizobium technology. New York: Springer-Verlag, 1994. 450 p.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, Barking, v. 99, n. 6, p. 1758-1767, 2008.

URETA, A. C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J. M. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 11, p. 7603-7606, 2005.

WELLS, M. L.; WOOD, B. W. Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. **HortScience**, Alexandria, v. 43, n. 5, p. 1437-1440, 2008.

ZEITOUNI, C. F. Eficiência de espécies vegetais como fioextradoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico. Campinas: **Instituto agrônômico**, 2003.

ZHANG, K. M.; WEXLER, A. S.; ZHU, Y. F.; HINDS, W. C.; SIOUTAS, C. Evolution of particle number distribution near roadways: Part II: the 'Road-to-Ambient' process. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 38, p. 6655-6665, 2004.

### **3. CAPÍTULO 2: TEORES FOLIARES E ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DRIS PARA SOJA EM FUNÇÃO DE MODOS E DOSES DE APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO DE TRÊS ANOS**

#### **RESUMO**

Entre os métodos para diagnóstico nutricional das plantas, destaca-se o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), que utiliza o conceito do balanço de nutrientes. O objetivo do presente estudo foi estabelecer normas de referência DRIS para a cultura da soja fertilizada com micronutrientes em área de três anos de sistema plantio direto. O experimento foi implantado com dois fatores: modos de aplicação (TS e V3) e dosagens de micronutrientes. As doses utilizadas foram 140, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup> do NiCoMo. Além disso, houve um tratamento testemunha (sem aplicação de micronutrientes) em quatro repetições. O modo de aplicação foi o fator mais relevante no estabelecimento de índice DRIS. A aplicação de micronutrientes no tratamento vegetativo proporcionou maior equilíbrio nutricional das plantas.

**Palavras-chave:** diagnose foliar, índices de balanço nutricional, *Glycine max* L.

### **3. CHAPTER 2: FOLIARY CONTENTS AND ESTABLISHMENT OF DRIS CONTENTS FOR SOYBEAN IN FUNCTION OF MODES AND DOSES OF APPLICATION OF CHEMICAL IN THREE-YEAR DIRECT STORAGE AREA**

#### **ABSTRACT**

Among the methods for nutritional diagnosis of plants, the Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) stands out, using the concept of nutrient balance. The objective of the present study was to establish DRIS reference standards for the cultivation of fertilized soybean with micronutrients in a three-year no-tillage area. The experiment was implemented with two factors: application modes (TS and V3) and micronutrient dosages. The doses used were 140, 200, 240 and 280 g ha<sup>-1</sup> of NiCoMo® fertilizer and a control treatment (without application of micronutrients) in four replicates. The mode of application was the most relevant factor in establishing DRIS index. The application of micronutrients in the vegetative treatment provided greater nutritional balance of the plants.

**Keywords:** Leaf diagnosis; Nutritional balance indices; *Glycine max* L.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A soja é atualmente uma das principais culturas de interesse agrícola, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Na safra 2016, a cultura ocupou uma área de mais de 33 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 95.753.265 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de 2,87 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016).

Vários fatores influenciam a obtenção de altas produtividades na cultura da soja, dentre eles destaca-se o suprimento adequado de nutrientes, que é fornecido às plantas pela prática da adubação. As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes extraídos durante o ciclo. Assim, é necessário que estes estejam disponíveis nas quantidades necessárias às plantas. (SORATTO et al., 2011; VALDERRAMA et al., 2011).

A disponibilidade dos micronutrientes no solo pode ser afetada pelo uso intensivo de técnicas agrícolas modernas, sendo necessária a reposição deles via adubação, pois são essenciais à nutrição das plantas. Nas fabáceas, como a soja, o níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo) exercem influência direta no processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). O níquel (Ni) é um micronutriente essencial, por ser constituinte da metaloenzima urease, enzima que catalisa a degradação da ureia em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>), tornando-o extremamente importante para o metabolismo do nitrogênio nas plantas, podendo aumentar a eficiência e a produtividade das culturas (RODAK, 2014).

A importância do Cobalto (Co) para a cultura está associada principalmente ao processo de fixação biológica de nitrogênio atmosférico devido ao seu papel como componente da coenzima cobamida (vitamina B12), precursora de leghemoglobina, que determina a atividade dos nódulos e, portanto, indispensável ao processo biológico (MENGEL; KIRKBY, 2001). Outro micronutriente importante para a fixação biológica do nitrogênio é o molibdênio (Mo), que é cofator das enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e está intimamente relacionado ao transporte de elétrons durante as reações bioquímicas (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

Dentre os métodos existentes para determinar a quantidade de nutrientes extraídos durante o ciclo da cultura, existe o DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), que é um procedimento integrado que identifica a suficiência de cada nutriente em relação aos outros na planta, ao invés de considerar apenas a concentração crítica de cada nutriente específico (SAMRA; ARORA, 1997). O DRIS baseia-se no

cálculo de um índice para cada nutriente, comparando-se as relações entre um nutriente e cada um dos demais nutrientes na amostra sob diagnose com as relações envolvendo esse mesmo nutriente em uma população de alta produtividade (PINTO et al., 2012).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi estabelecer normas de referência DRIS para a cultura da soja fertilizada com micronutrientes em área de três anos de sistema plantio direto.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba-MG, localizado entre 19 °39'19" de latitude Sul e 47 °57'27" de longitude Oeste, numa altitude de 795 m, no período de dezembro de 2015 a abril de 2016.

O clima da região é classificado pelo método de Köppen, como Aw, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco. A precipitação anual média é de 1606 mm e a temperatura média anual é de 21,5 °C, com 1479 mm de pluviosidade média anual (ROLIM et al., 2007). As médias das temperaturas máximas, mínimas, precipitação e umidade relativa da localização do experimento durante o período de condução encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR (%), Uberaba – 2016.

	<b>P</b>	<b>T máx.</b>	<b>T mín</b>	<b>UR</b>
Dezembro	276,20	31,40	20,23	76,85
Janeiro	315,20	29,71	21,06	82,16
Fevereiro	131,50	31,07	19,09	77,24
Março	292,0	29,94	20,25	77,72
Abril	316,45	31,16	17,67	62,40

Fonte: (INMET, 2017)

O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho escuro, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). A caracterização química do solo da área experimental se apresenta na Tabela 2. Os experimentos foram implantados em uma área de três anos de

plantio direto, anteriormente padronizado com a cultura do milho, sendo assim, a palhada é referente ao milho.

**Tabela 2.** Caracterização química do solo na área experimental de soja, Uberaba – 2016.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	T	V
Cm	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
0 – 20	5,4	2,7	33,0	1,0	0,4	0,1	1,4	3,48	42,5

Prof.= Profundidade, P=Método Mehlich 1, P, K, Na = [HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>], S-SO<sub>4</sub> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L<sup>-1</sup>] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, SB= Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0.

Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFU).

A composição do fertilizante NiCoMo com uma massa correspondente a 2,4% de níquel, 1,4% de cobalto e 26% de molibdênio, foi aplicada utilizando quatro dosagens distintas: 160, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup>. No experimento com aplicação no tratamento de sementes, a aplicação (TS) foi feita juntamente com a inoculação de bactérias, com o auxílio de uma bomba costal, na dose de 200 L ha<sup>-1</sup>. Já no experimento com a aplicação no tratamento vegetativo, a pulverização foi realizada no dia 10 de janeiro de 2016, período em que as plantas se encontravam no estágio vegetativo (V3), 24 dias após a semeadura, caracterizado pelo aparecimento do terceiro nó.

O estágio vegetativo V3 trata-se do período de crescimento das plantas, em que ocorre o processo de fixação mais ativo, sendo esta a principal razão para escolha desse período para condução do segundo experimento.

Anterior à semeadura, as sementes foram tratadas com Standak Top®, inseticida e fungicida na dose recomendada de 50 g ha<sup>-1</sup> de i.a., e o inoculante Masterfix® Soja, na dose recomendada de 100 ml ha<sup>-1</sup>. A semeadura da soja Monsoy 8210 cultivar Intacta foi realizada em 18 de dezembro de 2015, com uma densidade de 20 sementes por metro linear, estabelecendo parcelas de 4m x 9m, totalizando 44 parcelas.

Realizou-se uma fertilização de NPK na semeadura 05-25-25, na dose de 300 Kg ha<sup>-1</sup>, e uma adubação de cobertura no estágio V2, com a aplicação de 28 g de Mn quelatizado, juntamente com a aplicação de glifosato para o controle de plantas infestantes.

Efetuu-se três aplicações de fungicida sistêmico à base de estrobilurina e triazol, na dose de 300 ml ha<sup>-1</sup> cada aplicação, para o controle de doenças, sendo a primeira pulverização realizada no estágio R1, início do florescimento da soja.

O manejo de plantas infestantes foi realizado pós-emergência, com a aplicação de glifosato associado à adubação foliar de 200 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial quelatizado à base de manganês (Mn).

A amostragem para caracterização dos teores foliares e estabelecimento dos índices DRIS foi feita através da coleta da primeira folha madura a partir dos folíolos superiores, realizada no estágio fenológico R1 (início da floração). Os métodos utilizados para a determinação dos macro e micronutrientes foram: digestão sulfúrica do N (N Total), digestão nitro perclórica para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) e incineração para boro (B) (MALAVOLTA, 2006).

A colheita foi realizada 119 dias após a semeadura, no dia 15 de abril de 2016, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica das culturas, R8, caracterizado por apresentar a cor madura em 95% das vagens. Além disso, efetuou-se a avaliação da produtividade de grãos de soja.

Os tratamentos com produtividade igual ou superior a 0,8 t ha<sup>-1</sup> foram utilizados para o estabelecimento dos padrões nutricionais foliares, sendo considerados, no presente trabalho, como alta produtividade. Foram determinadas as normas para as relações bivariadas para o método DRIS. As normas DRIS foram constituídas pelas médias e pelo desvio-padrão das relações bivariadas, obtidas nas formas direta e inversa, entre todos os nutrientes avaliados das lavouras de alta produtividade. Definidos os padrões nutricionais foliares, os tratamentos de baixa produtividade (inferior a 0,8 t ha<sup>-1</sup>) foram diagnosticados pelo método DRIS, utilizando-se os padrões nutricionais descritos anteriormente.

Os índices nutricionais para o DRIS (IN) foram calculados conforme Jones (1981), sendo  $f(A/B) = (A/B - a/b)/s(a/b)$ , em que A/B representa o valor da relação entre as concentrações de dois nutrientes da planta diagnosticada; e a/b e s(a/b), respectivamente, a média e o desvio-padrão de cada relação bivariada na população de referência. O índice DRIS (IN) foi então determinado pela expressão:  $IN = [\sum (f(A/B_i - a/b_i)/s(a/b_i))) + \sum (f(B/A_i - b/a_i)/s(b/a_i))] / 2n$ , em que i varia de 1 até n; e n corresponde ao número de nutrientes B avaliados em relação ao nutriente A.



Calcularam-se, também, o Índice de Balanço Nutricional (IBN) pelo somatório, em módulo, dos índices nutricionais DRIS e o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), obtido dividindo-se o IBN pelo número de nutrientes avaliados em cada amostra foliar. Para a interpretação do estado nutricional, adotaram-se três classes: insuficiente, equilibrado ou excesso. Nas lavouras de baixa produtividade, o nutriente foi considerado nutricionalmente equilibrado, quando o índice nutricional, em módulo, foi menor que o IBNm; insuficiente, quando seu índice nutricional, sendo negativo, foi também, em módulo, maior que o IBNm; e, em excesso nutricional, quando seu índice nutricional, sendo positivo, foi também, em módulo, maior que o IBNm (WADT, 2005).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento médio de um grupo, classificado como grupo de alta produtividade ( $> 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa produtividade ( $<0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ), e os níveis médios de macro e micronutrientes no tecido foliar da soja são apresentados Tabela 3.

A faixa ótima dos nutrientes pelo método DRIS em amostras de soja coletadas na região sul do estado do Mato Grosso do Sul, nos anos de 2000/2001 e 2001/2002 foi 37 a 47,2 para o N, de 2,8 a 3,2 para o P, de 21,1 a 25, 2 para o K, de 10,1 a 13,1 para o Ca, de 2,6 a 3,8 para o Mg, de 2,0 a 2,7 para S, de 7,4 a 11,3 Cu, de 75,7 a 104,4 para o Fe e 45 a 69,4 para Mn e de 43,8 a 72,5 de Zn (URANO et al, 2007). Portanto, de acordo com Urano et al., (2007), os resultados dos teores foliares de N, Ca, Mg e Cu estão adequados, os teores de P, Fe, Mn e Zn estão acima dos adequados e os teores de K e S estão abaixo do adequado, tanto quanto à alta produtividade ( $> 0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) como para a baixa produtividade ( $<0,8 \text{ t ha}^{-1}$ ).

**Tabela 3.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetida ao tratamento vegetativo em área de 3 anos.

Produtividade $\text{t ha}^{-1}$	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	$\text{g kg}^{-1}$				$\text{mg kg}^{-1}$					
0,85	46,4	4,70	16,56	10,00	Acima de $0,8 \text{ t ha}^{-1}$					
					3,57	1,66	9,5	173,66	167,33	94,26
0,71	48,80	4,70	16,93	10,38	Abaixo de $0,8 \text{ t ha}^{-1}$					
					3,40	1,74	9,41	173,00	152,66	91,60

De maneira geral, o DRIS fornece o diagnóstico do estado nutricional por meio de dois diferentes índices: o de balanço nutricional (IBN) e o de DRIS de cada

nutriente. De acordo com a Tabela 4, verifica-se que, para o grupo de alta produtividade, a maior ocorrência de desequilíbrio nutricional, no conjunto de plantas avaliado, ocorreu para 240 g ha<sup>-1</sup> N no tratamento de semente e, para o grupo de baixa produtividade, ocorreu no tratamento testemunha.

Em relação aos micronutrientes, verifica-se que ocorreu maior desequilíbrio nutricional no tratamento testemunha e menor, com a aplicação de 160 g ha<sup>-1</sup> N, no tratamento de semente (Tabela 5). A partir dos resultados de IBN, nota-se que quando as plantas foram tratadas com o NiCoMo, no tratamento de sementes houve melhor índice de balanço nutricional das plantas, isto é, menores valores para IBN.

Kurihara (2004) verificou que os teores ótimos de Ca, S, Mn e Zn, em soja, permanecem inalterados em produtividades inferiores a 3.600 kg ha<sup>-1</sup> e aumentam a partir desse potencial produtivo, enquanto os teores ótimos de N, P, K, Mg, B, Cu e Fe não variam, mesmo para produtividades superiores a 4.800 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade alta (> 0,8 t ha<sup>-1</sup>) e baixa (< 0,8 t ha<sup>-1</sup>) para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.

Tratamento	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
Índices DRIS para grupos de alta produtividade								
160	0,94	-3,6	-6,3	5,2	-1,1	-1,8	4,3	36,79
200	0,81	0,2	3,4	-6,3	6,7	10,0	0,8	40,60
240	0,81	3,1	2,7	0,6	-6,3	-7,9	-6,1	50,34
								42,58
Índices DRIS para grupos de baixa produtividade								
280	0,80	16,9	-2,5	-8,6	-0,9	-0,8	14,3	69,89
Controle	0,76	10,7	4,7	1,5	-0,2	-9,0	0,8	40,89
Testemunha	0,59	3,8	-7,1	17,7	18,5	-9,6	4,2	118,72
								76,50

**Tabela 5.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade (> 0,8 t ha<sup>-1</sup>) e (< 0,8 t ha<sup>-1</sup>) para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.

Tratamento	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn	IBN
160	0,94	1,3	8,6	-1,4	-3,2	36,79
200	0,81	-1,3	-3,0	-4,4	-4,7	40,60
240	0,81	-0,2	-6,0	7,7	9,7	50,34
						42,58
280	0,80	2,3	-6,7	-15,4	1,5	69,89
Controle	0,76	-4,4	-4,0	-2,8	2,8	40,89
Testemunha	0,59	-8,7	5,1	-27,6	-6,4	118,72
						76,50

Com base nos resultados de DRIS de cada nutriente, é possível determinar a ordem de deficiência e excesso dos macronutrientes e micronutrientes. De acordo com a Tabela 6, verifica-se, para produtividades maiores que 0,8 t ha<sup>-1</sup>, a ordem de deficiência

P=K>S>Mg>Fe>Zn>Ca>N>Mn>Cu e a ordem de excesso Mg>Zn>Fe>Mn>Ca>P>K>S>N>Cu. Portanto, nesse caso, recomenda-se a redução da adubação com Mg, Zn, Mn.

Entretanto, para produtividades menores que 0,8 t ha<sup>-1</sup>, a ordem de deficiência é Mn>K>Cu>Mg>Zn>Fe>P>Ca>S=N e a ordem de excesso para produtividade é Ca>N>K>S>Fe>P>Cu>Zn>Mg=Mn (Tabela 6).

**Tabela 6.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.

Ordem	Índices de deficiência				Índices de excesso			
		>0,8 t ha <sup>-1</sup>		<0,8 t ha <sup>-1</sup>		>0,8 t ha <sup>-1</sup>		<0,8 t ha <sup>-1</sup>
1º	P	-6,3	Mn	-15,27	Mg	10,0	Ca	18,5
2º	K	-6,3	K	-8,6	Zn	9,7	N	10,5
3º	S	-6,1	Cu	-6,55	Fe	8,6	K	9,6
4º	Mg	-4,85	Mg	-6,47	Mn	7,7	S	6,43
5º	Fe	-4,5	Zn	-6,4	Ca	6,7	Fe	5,1
6º	Zn	-3,95	Fe	-5,35	P	3,05	P	4,7
7º	Ca	-3,7	P	-4,8	K	2,9	Cu	2,3
8º	N	-3,6	Ca	-0,55	S	2,55	Zn	2,15
9º	Mn	-2,9	S	0	N	1,65	Mg	0
10º	Cu	-0,75	N	0	Cu	1,30	Mn	0

Os teores foram praticamente idênticos (Tabelas 3 e 7), os mesmos elementos que mostraram suficiência na aplicação de Ni, Co e Mo via tratamento de semente (N, P, Ca, Mg e Fe), novamente estão em suficiência no tratamento foliar. A pequena alteração foi constatada para o macronutriente K, que está abaixo da faixa de suficiência no tratamento foliar apenas no grupo de produtividade >1,16 t ha<sup>-1</sup>, diferente do que aconteceu no experimento via tratamento de semente, no qual ele ficou baixo em ambas as faixas de produtividade (Tabela 3). Adesoji et al. (2009), trabalhando com vários métodos de aplicação de Mo na soja, também não encontrou diferença significativa entre os métodos.

**Tabela 7.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetidas ao tratamento de vegetativo em área de 3 anos.

Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
Acima de 1,16 t ha <sup>-1</sup>										
1,24	44,94	4,49	16,87	10,74	3,47	1,58	8	177,41	146,66	73,58
Abaixo de 1,16 t ha <sup>-1</sup>										
1,00	45,69	4,55	16,34	10,13	3,55	1,57	8,80	143,38	133,30	71,77

Em relação ao Índice de balanço nutricional (IBN), quando o tratamento foi aplicado no estágio vegetativo da soja, verificou-se que, para o grupo de baixa produtividade, a maior ocorrência de desequilíbrio nutricional dos macronutrientes (Tabela 8) bem como dos micronutrientes (Tabela 9), no conjunto de plantas avaliado, ocorreu para o tratamento testemunha. Isso demonstra a importância da aplicação de micronutrientes para a soja.

Por outro lado, o efeito de se aplicar o NiCoMo® via foliar do índice DRIS foi bem diferente do encontrado no tratamento de sementes, a dose que propiciou melhor equilíbrio nutricional foi o tratamento de 280 g ha<sup>-1</sup>, cujo IBN foi de 37,2 (Tabela 8). Quanto ao experimento que utilizou o produto no tratamento de sementes, o melhor equilíbrio foi proporcionado conforme já relatado pela dose de 280 g ha<sup>-1</sup> (Tabela 4), com um IBN de 37,2.

**Tabela 8.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade alta (> 1,16 t ha<sup>-1</sup>) e baixa (< 1,16 t ha<sup>-1</sup>) para soja sob tratamento vegetativo em área de 3 anos.

Índice DRIS para grupo de alta produtividade > 1,16 t ha <sup>-1</sup>								
	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
280	1,35	3,7	7,3	8,1	-2,5	0,1	-2,7	37,20
240	1,21	-1,2	0,3	-5,9	3,8	4,4	0,3	38,25
Testemunha	1,16	-3,4	-8,9	-2,3	-1,1	-5,6	1,8	54,93
								43,66
Índice DRIS para grupo de baixa produtividade < 1,16 t ha <sup>-1</sup>								
Controle	1,13	4,7	7,9	9,2	-1,5	0,5	-1,6	45,02
200	0,98	5,6	-9,1	-4,4	-16,0	6,8	7,9	105,81
160	0,90	-0,8	13,4	-11,4	-5,5	7,0	11,1	73,01
								74,61

**Tabela 9.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade (> 1,16 t ha<sup>-1</sup>) e (< 1,16 t ha<sup>-1</sup>) para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.

Índice DRIS para grupo de alta produtividade > 1,16 t ha <sup>-1</sup>						
	Produtividade	Cu	Fe	Mn	Zn	IBN
280	1,35	-2,2	-3,9	-6,6	-0,1	37,20
240	1,21	8,0	-5,3	3,6	-6,0	38,25
Testemunha	1,16	-7,5	12,9	4,6	6,7	54,93
						43,66
Índice DRIS para grupo de baixa produtividade < 1,16 t ha <sup>-1</sup>						
Controle	1,13	-1,9	-1,7	-6,7	-9,2	45,02
200	0,98	7,9	-14,0	-8,5	15,1	105,81
160	0,90	11,1	-11,4	0,6	2,7	73,01
						74,61

O suprimento de Ni, Co, e Mo via foliar, ao ser comparado com o tratamento de sementes, alterou de forma expressiva a ordem dos nutrientes em deficiência e excesso

(Tabelas 9 e 6). Entretanto, de forma semelhante, os grupos de menor produtividade tiveram maiores índices (valores modulares), indicando assim maior desequilíbrio, uma vez que, quanto mais longe de zero, maior é o desequilíbrio dos nutrientes na planta. Nolla et al. (2015) relatam que, em função das várias interações que ocorrem entre os íons dos nutrientes, existe uma grande dinâmica em sua disponibilidade, de modo que não é possível analisar esta quimicamente. Sendo assim, respaldado nesse estudo, é possível afirmar que, mesmo a dose dos nutrientes avaliados se mantendo constante, o fornecimento de Ni, Co e Mo, até certa dose, melhora equilíbrio e, depois, compromete-o ainda mais. Este ordenamento de nutrientes, desde os mais limitantes até os excessivos, deve ser analisado com cuidado, pois existe a possibilidade de falsos diagnósticos, em função das distorções provocadas por fatores não controlados (BATAGLIA et al., 2004, URANO et al., 2006).

**Tabela 10.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 3 anos.

Ordem	Índices de deficiência				Índices de excesso			
		>1,16 t ha <sup>-1</sup>	<1,16 t ha <sup>-1</sup>		>1,16 t ha <sup>-1</sup>	<1,16 t ha <sup>-1</sup>		
1º	P	-8,9	Fe	12,9	Ca	-11,5	P	10,65
2º	Mn	-6,6	K	8,1	Zn	-9,2	S	9,5
3º	Mg	-5,6	Cu	8,0	P	-9,1	Cu	9,5
4º	Cu	-4,85	Zn	6,7	Fe	-9,03	K	9,2
5º	Fe	-4,6	Mn	4,1	K	-7,9	Zn	8,9
6º	K	-4,1	P	3,8	Mn	-7,6	N	5,15
7º	Zn	-3,05	Ca	3,8	Cu	-1,9	Mg	4,76
8º	S	-2,7	N	3,7	S	-1,6	Mn	0,6
9º	N	-2,3	Mg	2,25	N	-0,8	Ca	0
10º	Ca	-1,8	S	1,05	Mg	0	Fe	0

Com base nos resultados de DRIS de cada nutriente, é possível determinar a ordem de deficiência e excesso dos macronutrientes e micronutrientes. De acordo com a Tabela 6, verifica-se, para produtividades >1,16 t ha<sup>-1</sup>, a ordem de deficiência P>Mn>Mg>Cu>Fe>K>Zn>S>N>Ca e a ordem de excesso Ca>Zn>P>Fe>K>Mn>Cu>S>N>Mg. Entretanto, para produtividades <0,8 t ha<sup>-1</sup>, a ordem de deficiência é Fe>K>Cu>Zn>Mn>Cu>S>Mg e a ordem de excesso para produtividade é P>S>Cu>K>Zn>N>Mg>Mn>Ca=Fe (Tabela 6).

### 3.4 CONCLUSÕES

Tendo em vista as análises e resultados apresentados, observa-se que a aplicação de micronutrientes no tratamento vegetativo proporciona maior equilíbrio nutricional às plantas. Verifica-se também que a dose de 280 g ha<sup>-1</sup> do níquel, cobalto e molibdênio no tratamento vegetativo proporcionou maior produtividade de grãos de soja.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S.; EVANS, H. J. The essentiality of cobalt for soybean plants grown under symbiotic conditions. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, USA, v.4, p. 24-36, 1961.
- ALOVISI, A. M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI, E.; SANTOS, M.J.G.; ALOSIVI, A. A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**. v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011.
- ALVES, S.; TRANCOSO, M. A.; GONÇALVES, M. L. S.; SANTOS, M. M. C. A nickel availability study in serpentinised areas of Portugal. **Geoderma, Amsterdam**, v. 164, p. 155-163, 2011.
- BACCOUCH, S.; CHAOUI, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of Plant Nutrition, New York**, v. 21, n. 3, p. 577-588, 1998.
- BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology, Lancaster**, v. 140, n. 2, p. 433-443, 2006.
- BRASIL. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 maio de 2007. Seção 1, p.8.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology, Lancaster**, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987.
- CAJU, J.; YUYAMA, M. M.; SUZUKI, S.; CAMACHO, S.A. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2008**. Rondonópolis: Fundação MT, 2008. 254 p. (Fundação MT. Boletim de pesquisa de soja, 12).
- CALEGARI, A.; HECKLER, J. C.; SANTOS, H. D.; PITOL, C.; FERNANDES, F. M.; HERNANI, L. C.; GAUDÊNCIO, C. D. A. Culturas, sucessões e rotações. **Sistema plantio direto-o produtor pergunta a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa-CPAO, p. 59-80, 1998.
- CARIDAD-CANCELA, R.; PAZ-GONZÁLEZ, A.; ABREU, C.A. Total and extractable nickel and cadmium contents in natural soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York**, v. 36, p. 241-252, 2005.

- CHEN, C.; HUANG, D.; LIU, J. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. **CLEAN–Soil, Air, Water, Weinheim**, v. 37, n. 4-5, p. 304-313, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_09\\_15\\_18\\_32\\_boletim\\_12\\_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf)>. Acesso em: 12 de fev. 2017.
- CROOKE, W. M.; INKSON, R. H. E. Relation between nickel toxicity and major nutrient supply. **Plant and Soil, The Hague, M. Nijhoff**, v. 49, n. 1, p. 1-15, 1955.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil: 2010. Londrina: Embrapa Soja, 2010.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology, Lancaster**, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984.
- 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**, Palo Alto, v. 41, p. 335-361, 1987.
- FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements from soil and plant**. 4. ed. New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011. 576 p.
- KLUCAS, R. V. Nickel, a micronutrient for hydrogen dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of USA**, Washington, v. 80, p. 2253-2257, 1983.
- KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, Amsterdam, v.59, p.9-21, 2009.
- KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYŃSKI, T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, Lancaster, v. 142, n. 6, p. 664-668, 1993.
- LEVY, C. De C.B. **Níquel em soja**: doses e formas de aplicação. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – instituto Agrônômico de Campinas.
- McBRIDE M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.
- MCCLURE, Peter R.; ISRAEL, Daniel W. Transport of nitrogen in the xylem of soybean plants. **Plant Physiology, Lancaster**, v. 64, n. 3, p. 411-416, 1979.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **The Botanical Review**, New York, v. 40, n. 4, p. 395-449, 1974.

MORGUTTI, S.; SACCHI, G. A.; COCUCCHI, S. M. Effects of  $\text{Ni}^{+2}$  on proton extrusion, dark  $\text{CO}_2$  fixation and malate synthesis in maize roots. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 60, n. 1, p. 70-74, 1984.

NORRISH, K. The geochemistry and mineralogy of trace elements, in Trace Elements in Soil-Plant- Animal Systems, eds., **Academic Press**, New York, v. 55, 1975.

NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 133-204.

OLIVEIRA, T. C.; FONTES, R. L. F.; REZENDE, S. T. D.; HUGO, V.; ALVAREZ, V. Effects of nickel and nitrogen soil fertilization on lettuce growth and urease activity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 698-706, 2013.

PALACIOS, G. et al. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 10, p. 2179-2191, 1998.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais pesados em plantas: II: Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 323-328, 1982.

RAJAIE, M.; KARIMIAN, N.; YASREBI, J. Nickel transformation in two calcareous soil textural classes as affected by applied nickel sulfate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, p. 344-351, 2008.

REIS, A. R.; RODAK, B.W.; PUTTI, F.F.; MORAES, M.F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. Piracicaba: **Informações Agronômicas, IPNI**, v.147, p.10-24, 2014.

SCHLEGEL, H. G.; COSSON, J. P.; BAKER, A. J. M. Nickel-hyperaccumulating plants provide a niche for nickel-resistant bacteria. **Plant Biology**, New York, v. 104, n. 1, p. 18-25, 1991.

SELLSTEDT, A.; SMITH, G. D. Nickel is essential for active hydrogenase in free-living frankia isolated from casuarina. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 137-140, 1990.

SIEBIELEC, G.; CHANEY, R. L. Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 1-17, 2006.



SENWO Z.N.; TAZISONG I. A. Metal contents in soils of Alabama. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, p. 2837–2848, 2004.

SINGH, Z.; SINGH, L.; ARORA, C.L.; DHILLON, B.S. Effect of cobalt, cadmium and nickel as inhibitors of ethylene biosynthesis on floral malformation, yield and fruit quality of mango. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.17, n.10, p.1659-1670, 1994.

SMITH, S. R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International**, Oxford, v. 35, p. 142-156, 2009.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H.J. **Handbook for rhizobia**: methods in legume-rhizobium technology. New York: Springer-Verlag, 1994. 450 p.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, Barking, v. 99, n. 6, p. 1758-1767, 2008.

URETA, A. C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J. M. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 11, p. 7603-7606, 2005.

WELLS, M. L.; WOOD, B. W. Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. **HortScience**, Alexandria, v. 43, n. 5, p. 1437-1440, 2008.

ZEITOUNI, C. F. Eficiência de espécies vegetais como fioextradoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico. **Instituto agrônômico, Campinas**, 2003.

ZHANG, K. M.; WEXLER, A. S.; ZHU, Y. F.; HINDS, W. C.; SIOUTAS, C. Evolution of particle number distribution near roadways: Part II: the 'Road-to-Ambient' process. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 38, n. 38, p. 6655-6665, 2004.

#### **4. CAPÍTULO 3: TEORES FOLIARES E ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DRIS PARA SOJA EM FUNÇÃO DE MODOS E DOSES DE APLICAÇÃO DE NÍQUEL, COBALTO E MOLIBDÊNIO EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO DE QUINZE ANOS**

##### **RESUMO**

Entre os métodos para diagnóstico nutricional das plantas, destaca-se o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), que utiliza o conceito do balanço de nutrientes. O objetivo do presente estudo foi estabelecer normas de referência DRIS para a cultura da soja fertilizada com micronutrientes em área de quinze anos de sistema plantio direto. Para isso, foram conduzidos dois experimentos simultaneamente, sendo um com aplicação de fertilizante no tratamento de semente e outro com aplicação no estágio vegetativo V3. As doses utilizadas foram 140, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup> do NiCoMo e um tratamento testemunha (sem aplicação de micronutrientes), em quatro repetições. A aplicação de 200 e 280 g ha<sup>-1</sup> do NiCoMo no tratamento de sementes e vegetativo, respectivamente, proporcionou maior produtividade de grãos e plantas mais equilibradas nutricionalmente.

**Palavras-chave:** micronutrientes, níquel, nutrição foliar.

##### **CHAPTER 3: FOLIARY CONTENTS AND ESTABLISHMENT OF DRIS CONTENTS FOR SOYBEAN IN THE FUNCTION OF MODES AND DOSES OF APPLICATION OF NiCoMo IN DIRECT PLANTS AREA OF FIFTEEN YEARS**

##### **ABSTRACT**

Among the methods for nutritional diagnosis of plants, the Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) stands out, using the concept of balance of nutrient. The objective of the present study was to establish DRIS reference standards for the cultivation of soybean fertilized with micronutrients in a field of fifteen years of no-tillage. Two experiments were simultaneously conducted, one with application of fertilizer in seed treatment and the other with application in the vegetative stage V3. The doses used were 140, 200, 240 and 280 g ha<sup>-1</sup> of NiCoMo® fertilizer and a control treatment (without application of micronutrients) in four replicates. The application of 200 and 280 g ha<sup>-1</sup> of the NiCoMo® fertilizer in the seed and vegetative treatment,

respectively, providing a higher productivity of grains and more nutritional balanced for plants.

**Keywords:** Micronutrients, nickel, foliar nutrition.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merr.) é de grande importância mundial, pois constitui mais de 54% da produção de sementes oleaginosas (HOUX III, et al. 2014). O Brasil é o segundo maior produtor de soja no mundo, ficando atrás apenas dos EUA (USDA, 2017), sendo a cultura da soja uma das mais importantes para a economia brasileira, na safra 2016/2017 é esperada uma produção de mais de 113 milhões de toneladas, em mais de 33 milhões de hectares cultivados (CONAB, 2017). O complexo de produtos da soja (grãos, farelos e óleos), em 2016, rendeu mais de 25 bilhões de dólares em dívidas para o Brasil, já em 2017, é esperado um aumento de 16,2 % neste valor, chegando a mais de 29 bilhões de dólares. Em vista disso, vale ressaltar, ainda, que o complexo soja, lidera as exportações brasileiras (MDIC/SECEX, 2017).

Os avanços tecnológicos nas últimas décadas permitiram grande incremento na produtividade da soja, que saiu de pouco mais de 1,7 t ha<sup>-1</sup>, em meados da década de 80, para algo em torno de 2,87 t ha<sup>-1</sup>, na safra 2005/2006 (CONAB, 2017). A partir de então, o nível de produtividade da soja brasileira ficou praticamente estagnada, oscilando para mais ou menos em função dos volumes de precipitação na safra. Na busca por melhores produtividades, o sojicultor está sempre procurando aperfeiçoar os fatores que afetam a sua produtividade, ou seja, fatores que influenciam o crescimento, desenvolvimento e comportamento das plantas (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017). Para tal, é imprescindível o fornecimento de nutrição adequada (FONTES; PEREIRA, 2003), que deve ser constantemente monitorada.

Os micronutrientes, muitas vezes, são os limitantes para maior resposta produtiva da cultura da soja, isto ocorre principalmente em solos do Cerrado, no caso do Brasil, região composta por solos naturalmente deficientes destes. Isto é devido ao processo de intemperismo adiantado do solo (UMESH et al., 2008), ao aumento da produtividade da soja (com variedades cada vez mais eficientes na remoção e exportação de nutrientes) e também ao uso inadequado de corretivos, que aceleram o surgimento de deficiências induzidas (TOMAZ et al., 2011).

Os micronutrientes, níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo), têm despertado grande interesse devido a resultados positivos de sua suplementação na produtividade da soja, por serem elementos essenciais e, principalmente, por participarem diretamente do processo de fixação biológica de nitrogênio. O Co é essencial à fixação simbiótica de nitrogênio, sendo componente da vitamina B12, necessária à formação de um tipo de

hemoglobina nos nódulos de fixação do nitrogênio. O Mo também participa do processo de fixação, pois é componente da enzima nitrogenase que catalisa a redução do N<sub>2</sub> atmosférico a NH<sub>3</sub>, reação pela qual os *Rhizobium* suprem o nitrogênio para soja (MARCONDES, 2001). O Ni tem grande importância também no processo de fixação, já que é componente da enzima urease e, no caso da soja, mais de 90 % do N fixado é posteriormente exportado dos nódulos para raízes e parte aérea estão na forma de ureídeos (REIS et al., 2014). No metabolismo de ureídeos forma-se ureia, sendo necessária a urease (BAI, et al., 2006) e, além disso, o Ni é necessário para as bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que possuem as enzimas hidrogenases, para as quais é necessário também o adequado suprimento deste micronutriente, pois a sua deficiência poderá afetar a fixação do N<sub>2</sub> (FRANCO, 2015).

Por sua vez, suprimento e nutrientes para soja, ou para qualquer outra cultura devem ser realizados avaliando a fertilidade do solo e se embasando também em análises foliares (COGO et al., 2006; MALAVOLTA, 2006), pois a quantidade de nutrientes presentes na folha é um reflexo das disponibilidades destes nutrientes no solo.

O Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) é uma das ferramentas utilizadas para identificar o estado nutricional das plantas, pois possibilita identificar limitações nutricionais que não são visualizadas nas análises de solo. Tal ferramenta traz como grande vantagem a possibilidade de ordenar os nutrientes do mais limitante ao mais excessivo, indicando aqueles que estão dificultando a produção devido ao desequilíbrio nutricional. O método DRIS utiliza como padrão nutricional uma população de referência baseada na alta produtividade de plantas, cuja nutrição está em equilíbrio (BEAUFILS, 1973; BALDOCK; SCHULTE, 1996; NZIGUHEBA et al., 2009).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar os níveis foliares e a produtividade da soja em diferentes modos de aplicação e doses de níquel, cobalto e molibdênio em sistema plantio direto, visando estabelecer índices de produtividade de DRIS.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba – MG, localizado entre 19 °39'19" de latitude Sul e 47

°57'27'' de longitude Oeste, numa altitude de 795 m, no período de dezembro de 2015 a abril de 2016.

O clima da região é classificado pelo método de Köppen, como Aw, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco. A precipitação anual média é de 1606 mm e a temperatura média anual é de 21,5 °C com 1479 mm de pluviosidade média anual (ROLIM et al., 2007). As médias das temperaturas máximas, mínimas, precipitação e umidade relativa da localização do experimento durante o período de condução encontram-se na Tabela 11.

**Tabela 11.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR (%)Uberaba – 2016.

	P	T máx.	T mín.	UR
Dezembro	276,20	31,40	20,23	76,85
Janeiro	315,20	29,71	21,06	82,16
Fevereiro	131,50	31,07	19,09	77,24
Março	292,0	29,94	20,25	77,72
Abril	316,45	31,16	17,67	62,40

Fonte: (INMET, 2017)

O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho escuro, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). A caracterização química do solo da área experimental segue na Tabela 12. Os experimentos foram implantados em uma área de quinze anos de plantio direto, anteriormente padronizado com a cultura do milho, sendo assim, a palhada é referente ao milho.

**Tabela 12.** Caracterização química do solo na área experimental de soja, Uberaba – 2016.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	T	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cm	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%			mg dm <sup>-3</sup>		
0 – 20	4,9	11,0	61,7	0,6	0,3	0,3	0,2	3,8	31	0	0,1	0	0,1	0,1

Prof.= Profundidade, P=Método Mehlich 1, P, K, Na = [HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>], S-SO<sub>4</sub> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L<sup>-1</sup>] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, SB= Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0.

Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFU).

A composição do fertilizante NiCoMo com uma massa correspondente a 2,4% de níquel, 1,4% de cobalto e 26% de molibdênio, foi aplicada utilizando quatro

dosagens distintas: 160, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup>. No experimento com aplicação no tratamento de sementes, a aplicação (TS) foi feita juntamente com a inoculação de bactérias, com o auxílio de uma bomba costal, na dose de 200 L ha<sup>-1</sup>. Já no experimento com a aplicação no tratamento vegetativo, a pulverização foi realizada no dia 10 de janeiro de 2016, período em que as plantas se encontravam no estágio vegetativo (V3), caracterizado pelo aparecimento do terceiro nó, aos 24 dias após a semeadura.

O estágio vegetativo V3, trata-se do período de crescimento das plantas em que ocorre o processo de fixação mais ativo, sendo esta a principal razão para escolha desse período para a condução do experimento.

Anterior à semeadura, as sementes foram tratadas com Standak Top®, inseticida e fungicida na dose recomendada de 50 g ha<sup>-1</sup> de i.a., e o inoculante Masterfix® Soja, na dose recomendada de 100 ml ha<sup>-1</sup>. A semeadura da soja Monsoy 8210 cultivar Intacta foi realizada em 18 de dezembro de 2015, com uma densidade de 20 sementes por metro linear, estabelecendo parcelas de 4m x 9m, totalizando 44 parcelas.

Realizou-se uma fertilização de NPK na semeadura 05-25-25, na dose de 300 Kg ha<sup>-1</sup>, e uma adubação de cobertura no estágio V2, com a aplicação de 28 g de Mn quelatizado, juntamente com a aplicação de glifosato para o controle de plantas infestantes.

Efetou-se três aplicações de fungicida sistêmico à base de estrobilurina e triazol, na dose de 300 ml ha<sup>-1</sup> cada aplicação, para o controle de doenças, sendo a primeira pulverização realizada no estágio R1, início do florescimento da soja.

O manejo de plantas infestantes foi realizado pós-emergência, com a aplicação de glifosato associado à adubação foliar de 200 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial quelatizado à base de manganês (Mn).

A amostragem para caracterização dos teores foliares e estabelecimento dos índices DRIS foi feita através da coleta da primeira folha madura a partir dos folíolos superiores, realizada no estágio fenológico R5 (início da floração). Os métodos utilizados para a determinação dos macro e micronutrientes foram: digestão sulfúrica do N (N Total), digestão nitro perclórica para fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e incineração para boro (B) (MALAVOLTA, 2006).

A colheita foi realizada 119 dias após a semeadura, no dia 15 de abril de 2016, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica das culturas, R8,

caracterizado por apresentar a cor madura em 95% das vagens. Além disso, efetuou-se a avaliação da produtividade de grãos de soja.

Os tratamentos com produtividade igual ou superior a 0,8 t ha<sup>-1</sup> foram utilizados para o estabelecimento dos padrões nutricionais foliares, sendo considerados, no presente trabalho, como alta produtividade. Foram determinadas as normas para as relações bivariadas para o método DRIS. As normas DRIS foram constituídas pelas médias e pelo desvio-padrão das relações bivariadas, obtidas nas formas direta e inversa, entre todos os nutrientes avaliados das lavouras de alta produtividade. Definidos os padrões nutricionais foliares, os tratamentos de baixa produtividade (inferior a 0,8 t ha<sup>-1</sup>) foram diagnosticados pelo método DRIS, utilizando-se os padrões nutricionais descritos anteriormente.

Os índices nutricionais para o DRIS (IN) foram calculados conforme Jones (1981), sendo  $f(A/B) = (A/B - a/b) / s(a/b)$ , em que A/B representa o valor da relação entre as concentrações de dois nutrientes da planta diagnosticada; e a/b e s(a/b), respectivamente, a média e o desvio-padrão de cada relação bivariada na população de referência. O índice DRIS (IN) foi então determinado pela expressão:  $IN = [\sum (f(A/B_i - a/b_i) / s_i(a/b_i))) + \sum (f(B/A_i - b/a_i) / s_i(b/a_i))] / 2n$ , em que i varia de 1 até n; e n corresponde ao número de nutrientes B avaliados em relação ao nutriente A.

Calcularam-se, também, o Índice de Balanço Nutricional (IBN) pelo somatório, em módulo, dos índices nutricionais DRIS e o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), obtido dividindo-se o IBN pelo número de nutrientes avaliados em cada amostra foliar. Para a interpretação do estado nutricional, adotaram-se três classes: insuficiente, equilibrado ou excesso. Nas lavouras de baixa produtividade, o nutriente foi considerado nutricionalmente equilibrado, quando o índice nutricional, em módulo, foi menor que o IBNm; insuficiente, quando seu índice nutricional sendo negativo foi também, em módulo, maior que o IBNm; e, em excesso nutricional, quando seu índice nutricional, sendo positivo, foi também, em módulo, maior que o IBNm (WADT, 2005).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento médio de um grupo, classificado como grupo de alta produtividade (> 1,05 t ha<sup>-1</sup>) e baixa produtividade (<1,05 t ha<sup>-1</sup>), e os níveis médios de macro e micronutrientes no tecido foliar da soja, no experimento relativo ao tratamento



de sementes, são apresentados na Tabela 13. Observa-se que os nutrientes N, P, Ca, Mg e Fe estão com os níveis no tecido foliar na faixa do adequado, segundo a Embrapa (1996). Já os níveis no tecido foliar de K, S e Cu estão abaixo do adequado, valendo ressaltar que estão bem próximos ao limite inferior dos níveis que são requeridos para o bom desenvolvimento da soja (EMBRAPA, 1996). Por fim, pela mesma classificação da Embrapa, o nível de Mn pode ser considerado alto e o de Zn extremamente alto (Tabela 13).

**Tabela 13.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetida ao tratamento vegetativo em área de 15 anos.

Vegetativo em área de 15 anos.										
Produtividade t ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
	Acima de 1,05 t ha <sup>-1</sup>									
1,17	49,78	4,40	16,56	9,2	3,62	1,40	9,00	179,75	127,88	76,25
	Abaixo de 1,05 t ha <sup>-1</sup>									
0,87	50,62	5,21	17,02	9,43	3,62	1,42	9,43	211,43	116,87	75,00

A produtividade da variedade da soja nesse experimento foi bastante comprometida, por dois motivos: primeiro, o semeio fora da época recomendada para a variedade utilizada – para a microrregião 303, no caso de Uberaba – MG, seria até a terceira semana de novembro –, já que foi semeada na terceira semana de dezembro. Já o segundo motivo se deu pela ocorrência em alta severidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), entretanto, mesmo em condições totalmente adversas ao pleno desenvolvimento da variedade de soja, foi possível observar os efeitos do bom equilíbrio nutricional no desenvolvimento desta e também o efeito do NiCoMo na produtividade final do grão..

A maior produtividade de grãos foi alcançada no tratamento com 200 g ha<sup>-1</sup> do NiCoMo, para o qual houve o melhor índice IBN no experimento que utilizou o fertilizante no tratamento de sementes, ou seja, um maior equilíbrio entre macro e micronutrientes (Tabela 14). Além disso, observa-se que, nos demais tratamentos que utilizaram a fonte comercial de níquel, cobalto e molibdênio, ocorreu um efeito inverso da utilização do produto, pois, ao se aumentar dose, gerou-se um maior desequilíbrio nutricional na planta. As relações entre os nutrientes no solo são muito importantes para o equilíbrio e funcionamento nas plantas, pois o excesso de um nutriente pode comprometer a absorção de outro (NOVAIS et al., 2007).

**Tabela 14.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade alta ( $> 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa ( $< 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

Tratamentos	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	Índice DRIS para grupo de alta produtividade > 1,05 t ha <sup>-1</sup>						
		N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
200	1,3	0,7	1,3	0,5	-0,1	-0,4	0,2	7,23
240	1,05	-0,7	-1,6	-0,4	0,1	0,5	-0,2	7,98
								7,61
		Índice DRIS para grupo de alta produtividade <1,05 t ha <sup>-1</sup>						
Controle	1,01	2,0	0,5	0,5	0,4	-5,7	-5,6	23,13
280	1,01	-2,5	2,0	-7,7	2,6	-4,7	11,7	33,16
160	0,76	-1,0	0,9	-5,3	1,1	4,1	8,8	30,69
Testemunha	0,72	-0,3	1,1	25,0	1,1	3,6	-23,3	64,98
								37,99

**Tabela 15.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $> 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) e ( $< 1,05 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

Índice DRIS para grupo de alta produtividade > 1,05 t ha <sup>-1</sup>					
Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn	IBN
200	-1,0	1,0	-0,7	-1,4	7,23
240	-1,0	-1,1	0,8	1,6	7,98
					7,61
Índice DRIS para grupo de alta produtividade <1,05 t ha <sup>-1</sup>					
Controle	0,8	5,9	0,5	1,3	23,13
280	0,5	-0,1	-1,1	0,0	33,16
160	-0,1	1,2	-7,0	-1,1	30,69
Testemunha	1,7	1,2	-7,2	-0,5	64,98
					37,99

Esta abordagem dos índices críticos dos nutrientes em uma condição adversa ao desenvolvimento da soja é diferente da que normalmente é realizada, pois, segundo Urano et al. (2007), os estudos para verificar o nível crítico de um nutriente normalmente utilizam uma abordagem em que ocorrem intervenções apenas nos níveis de nutrientes, e todas as demais condições de produção permanecem em níveis não limitantes. Entretanto, Silva et al. (2005) relata que as relações duais entre nutrientes apresentarem maior constância comparativamente aos seus teores, ocasionando, desta forma, uma certa independência no uso do DRIS em relação a fatores reconhecidamente influentes nos teores de nutrientes, como a região de cultivo, o ataque de doenças, dentre outros.

O índice DRIS, quando positivo, indica que o nutriente está acima do nível ótimo e, ao contrário, quando negativo, indica que o nutriente está abaixo do nível ótimo, ou seja, valores negativos sugerem deficiências, ao passo que valores positivos, sugerem o excesso de nutrientes em relação aos demais (QUEIROZ et al., 2014).

Vale observar que, mesmo os nutrientes N, P, Ca, Mg e Fe estando dentro da faixa de suficiência na folha (Tabela 13), para ambas as faixas de produtividade, ao se observar os índices DRIS (Tabela 14), verifica-se desequilíbrio destes nutrientes nas plantas de soja ao se adotar o tratamento controle como exemplo, e observa-se também que o cálcio é o que está mais equilibrado (valor mais próximo de zero). Já o N e o P, neste tratamento, estariam em excesso, enquanto o magnésio e o ferro estariam em deficiência. O desequilíbrio é observado também nos demais tratamentos. Partelli et al. (2014) relatam que o DRIS é benquisto exatamente por conseguir medir o equilíbrio nutricional na planta e, além disso, minimizar os efeitos atribuídos a fatores não nutricionais.

É importante ressaltar que, para uma maior assertividade na nutrição da soja, é necessário o bom equilíbrio entre os nutrientes, pois a demasia de um nutriente pode inibir a absorção do outro, por antagonismo ou pela competição pelos sítios de absorção (NOVAIS et al., 2007), ocasionando deficiências e, conseqüentemente, perdas nas produtividades pelo desequilíbrio nutricional ocorrido. Além disso, a planta ainda pode ficar mais suscetível ao ataque de agentes nocivos, como os insetos e os fungos (CARVALHO et al., 2013).

Nota-se se também o efeito positivo do fornecimento Ni, Co e Mo no tratamento de sementes ao longo do processo de fixação biológica de nitrogênio. Verificou-se que há um comportamento diretamente proporcional entre o aumento da dose dos micronutrientes e o fornecimento de nitrogênio na planta (Tabela 14). Saindo de um nível de insuficiência (valor negativo), ficando praticamente em equilíbrio na dose de 200 g ha<sup>-1</sup> e elevando o seu nível até o tratamento 280 g ha<sup>-1</sup>, pelo excesso deste nutriente em relação aos demais.

O índice DRIS permite identificar quais nutrientes estão limitando a produtividade da cultura (DIAS, 2010), buscando assim sanar as deficiências nutricionais que estão limitando a produção. Em vista disso, observa-se que há diferenças de nutrientes limitantes entre os grupos de produtividade superiores a 1,16 t ha<sup>-1</sup> e inferiores a 1,16 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 15). De forma geral, o índice médio de deficiência e excesso, em ambos os casos, é maior em produtividades inferiores a 0,8 t ha<sup>-1</sup>, destacando assim o maior desequilíbrio nutricional das plantas nas parcelas de menor produtividade.

Não houve praticamente nenhuma influência da aplicação do NiCoMo em relação ao tratamento de sementes ou tratamento foliar (no estágio V3), nos teores de

macro e micronutrientes do tecido foliar da soja. Os teores foram praticamente idênticos (Tabelas 13 e 16), os mesmos elementos que mostraram suficiência na aplicação de Ni, Co e Mo via tratamento de semente (N, P, Ca, Mg e Fe), novamente estão em suficiência no tratamento foliar. A pequena alteração foi constatada para o macronutriente K, que está abaixo da faixa de suficiência no tratamento via foliar apenas no grupo de produtividade  $>1,16 \text{ t ha}^{-1}$ , diferente do que aconteceu no experimento via tratamento de semente, no qual ele ficou baixo em ambas as faixas de produtividade (Tabela 13). Adesoji et al. (2009), trabalhando com vários métodos de aplicação de Mo na soja, também não encontrou diferença significativa entre os métodos.

Com base nos resultados de DRIS de cada nutriente é possível determinar a ordem de deficiência e excesso dos macronutrientes e micronutrientes. De acordo com a Tabela 16, verifica-se para produtividades  $>1,05 \text{ t ha}^{-1}$  a ordem de deficiência  $\text{P}>\text{Zn}>\text{Fe}>\text{Cu}>\text{N}>\text{Mn}>\text{Mg}>\text{K}>\text{S}>\text{Ca}$  e a ordem de excesso  $\text{Mg}>\text{K}>\text{Ca}>\text{Mn}>\text{N}>\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Fe}>\text{P}>\text{Ca}$ . Portanto, nesse caso, recomenda-se a redução da adubação com Mg, Zn, Mn.

Entretanto, para produtividades  $<1,05 \text{ t ha}^{-1}$ , a ordem de deficiência é  $\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Fe}>\text{Mn}>\text{N}>\text{K}>\text{Mg}>\text{S}>\text{Ca}>\text{Cu}$  e a ordem de excesso para produtividade é  $\text{K}>\text{S}>\text{Mg}>\text{Fe}>\text{N}>\text{Ca}>\text{Zn}>\text{P}>\text{Cu}>\text{Mn}$  (Tabela 16).

**Tabela 16.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

Ordem	Índices de deficiência				Índices de excesso			
		$>1,05 \text{ t ha}^{-1}$	$<1,05 \text{ t ha}^{-1}$		$>1,05 \text{ t ha}^{-1}$	$<1,05 \text{ t ha}^{-1}$		
1º	P	-1,6	Zn	1,6	Mg	-14,45	K	12,75
2º	Zn	-1,4	Cu	1,3	K	-6,5	S	10,25
3º	Fe	-1,1	Fe	1,0	Ca	-5,2	Mg	3,85
4º	Cu	-1,0	Mn	0,8	Mn	-5,10	Fe	2,75
5º	N	-0,7	N	0,7	N	-1,26	N	2,0
6º	Mn	-0,7	K	0,5	Zn	-0,8	Ca	1,3
7º	Mg	-0,4	Mg	0,5	Cu	-0,1	Zn	1,3
8º	K	-0,4	S	0,2	Fe	-0,1	P	1,12
9º	S	-0,2	Ca	0,1	P	0	Cu	1,0
10º	Ca	-0,1	Cu	0	Ca	0	Mn	0,5

O rendimento médio de um grupo classificado como grupo de alta produtividade ( $>1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixa produtividade ( $<1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) e os níveis médios de macro e micronutrientes no tecido foliar da soja no experimento relativo ao tratamento de

sementes são apresentados na Tabela 17. De modo semelhante ao experimento com tratamento vegetativo, os teores de N, P, Ca, Mg e Fe estão com os níveis no tecido foliar na faixa do adequado, segundo a Embrapa (1996). Já os níveis no tecido foliar de K, S e Cu estão abaixo do adequado valendo ressaltar que estão bem próximos ao limite inferior dos níveis que são requeridos ao bom desenvolvimento da soja (EMBRAPA, 1996). Por fim, pela mesma classificação da Embrapa, o nível de Mn pode ser considerado alto e o de Zn extremamente alto (Tabela 13).

**Tabela 17.** Teores foliares de macro e micronutrientes da soja submetida ao tratamento de vegetativo em área de 15 anos.

Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
Acima de 1,16 t ha <sup>-1</sup>										
1,24	44,94	4,49	16,87	10,74	3,47	1,58	8,00	177,41	146,66	73,58
Abaixo de 1,16t ha <sup>-1</sup>										
1,00	45,69	4,55	16,34	10,13	3,55	1,57	8,80	143,38	133,30	71,77

Por outro lado, o efeito do de se aplicar o NiCoMo® via foliar do índice DRIS foi bem diferente do encontrado no tratamento de sementes, a dose que propiciou melhor equilíbrio nutricional foi o tratamento de 160 g ha<sup>-1</sup>, cujo IBN foi de 37,2 (Tabela 18). Quanto ao experimento que utilizou o produto no tratamento de sementes, o melhor equilíbrio foi proporcionado conforme já relatado pela dose de 140 g ha<sup>-1</sup> (Tabela 14), com um IBN de 37,2.

**Tabela 18.** Índices DRIS para macronutrientes para produtividade alta (> 1,16 t ha<sup>-1</sup>) e baixa (< 1,16 t ha<sup>-1</sup>) para soja sob tratamento vegetativo em área de 15 anos.

Tratamentos	Produtividade t ha <sup>-1</sup>	Índice DRIS para população de produtividade >1,16 t ha <sup>-1</sup>						
		N	P	K	Ca	Mg	S	IBN
280	1,35	3,7	7,3	8,1	-2,5	0,1	-2,7	37,20
240	1,21	-1,2	0,3	-5,9	3,8	4,4	0,3	38,25
Testemunha	1,16	-3,4	-8,9	-2,3	-1,1	-5,6	1,8	54,93
								43,66
Índice DRIS para população de produtividade <1,16 t ha <sup>-1</sup>								
Controle	1,13	4,7	7,9	9,2	-1,5	0,5	-1,6	45,02
200	0,98	5,6	-9,1	-4,4	-16,0	6,8	7,9	105,81
160	0,90	-0,8	13,4	-11,4	-5,5	7,0	11,1	73,01
								74,61

**Tabela 19.** Índices DRIS para micronutrientes para produtividade ( $> 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) e ( $< 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ ) para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

Tratamentos	Produtividade $\text{t ha}^{-1}$	Índice DRIS para população de produtividade $>1,16 \text{ t ha}^{-1}$				
		Cu	Fe	Mn	Zn	IBN
280	1,35	-2,2	-3,9	-6,6	-0,1	37,20
240	1,21	8,0	-5,3	3,6	-6,0	38,25
Testemunha	1,16	-7,5	12,9	4,6	6,7	54,93
						43,66
Índice DRIS para população de produtividade $<1,16 \text{ t ha}^{-1}$						
Controle	1,13	-1,9	-1,7	-6,7	-9,2	45,02
200	0,98	7,9	-14,0	-8,5	15,1	105,81
160	0,90	11,1	-11,4	0,6	2,7	73,01
						74,61

O suprimento de Ni, Co, e Mo via foliar, ao ser comparado com o tratamento de sementes, alterou de forma expressiva a ordem dos nutrientes em deficiência e excesso (Tabelas 19 e 15). Entretanto de forma semelhante os grupos de menor produtividade tiveram maiores índices (valores modulares), indicando assim maior desequilíbrio, uma vez que, quanto mais longe de zero, maior é o desequilíbrio dos nutrientes na planta. Nolla et al. (2015), relatam que, em função das várias interações que ocorrem entre os íons dos nutrientes, existe uma grande dinâmica em sua disponibilidade, de modo que não é possível analisar esta apenas pela sua disponibilidade química. Sendo assim, respaldado nesse estudo é possível afirmar que, mesmo a dose dos nutrientes avaliados se mantendo constante, o fornecimento de Ni, Co e Mo até certa dose melhora equilíbrio e, depois, compromete-o ainda mais este equilíbrio. Este ordenamento de nutrientes, desde os mais limitantes até os excessivos deve ser analisado com cuidado, pois existe a possibilidade de falsos diagnósticos, em função das distorções provocadas por fatores não controlados (BATAGLIA et al., 2004; URANO et al., 2006).

**Tabela 20.** Índices de deficiência e excesso para soja sob tratamento de semente em área de 15 anos.

Ordem	Índices de deficiência				Índices de excesso			
	$>1,16 \text{ t ha}^{-1}$		$<1,16 \text{ t ha}^{-1}$		$>1,16 \text{ t ha}^{-1}$		$<1,16 \text{ t ha}^{-1}$	
1º	P	-8,9	Fe	12,9	Ca	-11,5	P	10,65
2º	Mn	-6,6	K	8,1	Zn	-9,2	S	9,5
3º	Mg	-5,6	Cu	8,0	P	-9,1	Cu	9,5
4º	Cu	-4,85	Zn	6,7	Fe	-9,03	K	9,2
5º	Fe	-4,6	Mn	4,1	K	-7,9	Zn	8,9
6º	K	-4,1	P	3,8	Mn	-7,6	N	5,15
7º	Zn	-3,05	Ca	3,8	Cu	-1,9	Mg	4,76
8º	S	-2,7	N	3,7	S	-1,6	Mn	0,6
9º	N	-2,3	Mg	2,25	N	-0,8	Ca	0
10º	Ca	-1,8	S	1,05	Mg	0	Fe	0

É possível determinar a ordem de deficiência e excesso dos macronutrientes e micronutrientes. De acordo com a Tabela 16, verifica-se, para produtividades  $>1,16 \text{ t ha}^{-1}$ , a ordem de deficiência  $\text{P} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Zn} > \text{S} > \text{N} > \text{Ca}$  e a ordem de excesso  $\text{Ca} > \text{Zn} > \text{P} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{S} > \text{N} > \text{Mg}$ . Entretanto, para produtividades  $< 1,16 \text{ t ha}^{-1}$ , a ordem de deficiência é  $\text{Fe} > \text{K} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg}$  e a ordem de excesso para produtividade é  $\text{P} > \text{S} > \text{Cu} > \text{K} > \text{Zn} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Ca} > \text{Fe}$  (Tabela 20).

#### 4.4 CONCLUSÕES

As dosagens de 200 e 280 g  $\text{ha}^{-1}$  de NiCoMo no tratamento de sementes e vegetativo, respectivamente, proporcionam maior produtividade de grãos e plantas mais equilibradas nutricionalmente.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESOJI, A. G.; ABUBAKAR, I. U.; ISHAYA, D. B. Performance of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) as influenced by method and rate of molybdenum application in Samaru, Northern Guinea Savanna of Nigeria. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, Faisalabad, v. 3, n. 4, p.845-849, 2009.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com café no município de Araguari-MG. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.26, n.2, p.158-173, 2017.

ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A.; PAULA, A. L. D.; PAULA, F. L. M. D.; GODOI, R. D. S.; BARROS, G. T. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar asterix de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1179-1184, 2006.

BAI, C.; REILLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**. Rockville, v.140, p.433-443, 2006.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 448-456, 1996.

BANGROO, S. A.; BHAT, M. I.; ALI, T.; AZIZ, M. A.; BHAT, M. A.; WANI, M. A. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)-A Review. **International Journal of Current Research**, India, v.10, p.84-97, 2010.

BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. D.; ABREU, M. D. Diagnose nutricional do café pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.253-263.

- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS):** A general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1)
- BEBENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia:** princípios e conceitos. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. p. 331-341. v. 1.
- BREGAGNOLI, M.; BREGAGNOLI, F.; MINAMI, K.; GRATIERI, L.A.; MINCHILLO, M. Análise bromatológica de sete cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas na safra de verão no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, p.387-387, 2003.
- CARDOSO, A.F.; LUZ, J.M.Q.; LANA, R.M.Q. Produtividade e qualidade de tubérculos em função do fertilizante organomineral e safras de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, p.80-89, 2015.
- CARVALHO, D. D. O.; POZZA, E. A.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V. D.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, C. O. Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n. 3, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – Conab. **Estimativas de Safras Agrícolas:** 8º de grãos – Safra 2016/2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 jun. 2017.
- COGO, C. M.; ANDRIOLO, J. L.; BISOGNIN, D. A.; DOS SANTOS GODOI, R.; BORTOLOTO, O. C.; BARROS, G. T. Crescimento, produtividade e coloração dos chips de tubérculos de batata produzidos sob alta disponibilidade de potássio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p. 985-988, 2006.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.
- DIAS, J. R. M.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. D.; LEMOS, C. D. O.; WADT, P. G. S. Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.1, p.64-71, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1998/99.** Londrina: Embrapa Soja, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
- ERNST, W. H. Schwermetalle. In: BRUNOLD, C.H. A.; RÜEGESEGGER, Y.R. B. **Stress Bei Pflanzen.** UTB für Wissenschaft. Stuttgart :Verlag Paul Haupt, 1996, p.191-220.



- FAGEIRA, K. N.; FILHO, M. P. B.; CARVALHO, J. R. P. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.4, p.483-488, 1981.
- FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M.C.P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: POTAFÓS, 1990. 480 p.
- FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Nutrição mineral do tomate para mesa. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, p. 27-34, 2003.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, Palo Alto, v. 29, p. 511-556, 1978.
- FRANCO, G. de C. **Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2015.
- GUPTA, U. C.; KENING, W. U.; LIANG, S. Micronutrients in soils, crops, and livestock. **Earth Science Frontiers**, Beijing, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.
- HOWELER, R. H. Iron induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, USA, v. 37, p. 898-903, 1973
- HOUX III, J.H.; WIEBOLD, W.J.; FRITSCHI, F.B. Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 164, p. 12-21, 2014.
- KRUPA, Z.; BARANOWSKA, M.; ORZOL, D. Can anthocyanins be considered as heavy metal stress indicator in higher plants? **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v. 18, p. 147-151, 1996.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Agronômica Ceres, 2006.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARCONDES, J.A.P. **Nodulação e absorção de nitrogênio pela soja em resposta à aplicação de cobalto e molibdênio**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.
- NZIGUHEBA, G.; TOSSAH, B.K.; DIELS, J.; FRANKE, A.C.; AIHOU, K.; IWUAFOR, E.N.; MERCKX, R. Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna. **Plant and Soil**, The Hague, M. Nijhoff, v. 314, n. 1-2, p. 143, 2009.
- NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; CASTALDO, J.H.; DA SILVA ALVES, E.O.; DA MOTA NETO, L.V.; DA SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Disponibilidade de nutrientes e fitotoxidez de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.1-16, 2015.

- NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p.472-537.
- QUEIROZ, A. A.; LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C. D.; FIGUEIREDO, F. C. Productivity and establishment of DRIS indices for tubers of the potato cultivar 'Agata'. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 351-360, 2014.
- PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; JÚNIOR, E. P. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Rev Bras Cienc Solo**, Viçosa v.38, p.858-66, 2014.
- REIS, A. R.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxicidade em plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 147, p. 10-24, 2014.
- ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, p.711-720, 2007.
- SILVA, G. G. C. da; NEVES, J. C. L. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 755-761, 2005.
- SILVEIRA, M. A.; ANDRÉ, C. M. G.; ALVIM, T. C. L. **A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para produção de etanol**. Palmas: UFT, 2007. 45 p. (Boletim Técnico)
- TOMAZ, M. A.; MARTINEZ, H. E. P.; RODRIGUES, W. N.; FERRARI, R. B.; PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 108-114, 2011.
- TROLLDENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. **Plant Soil**, The Hague, M. Nijhoff, v. 47, p. 193-202, 1977.
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Oilseeds: World markets and trades**. Washington, 2017. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 02 jun. 2017.
- URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.
- URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e

recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.63-72, 2007

ZAAG, D. E. VAN DER. **La patata y su cultivo en los Países Bajos: Haya**. Holanda: Instituto Consultivo Holandés Sobre La Patata, 1993. 76 p.

## **5. CAPÍTULO 4: MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM SOLOS DO CERRADO.**

### **RESUMO**

Os micronutrientes essenciais, níquel, cobalto e molibdênio, proporcionam um melhor aproveitamento do nitrogênio por serem importantes para o metabolismo deste nutriente, e a utilização desses com práticas conservacionistas, como o plantio direto, proporcionam ganhos no rendimento da soja. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação do Ni, Co e Mo nas características produtivas da soja e a época adequada para o fornecimento dos micronutrientes importantes ao processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em áreas com sistemas plantio direto de três e quinze anos. Para isso, o experimento foi conduzido em duas áreas de sistema plantio direto, de três e 15 anos, na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba – MG. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial  $4 \times 2 + 1$  tratamento adicional, de modo que o primeiro fator consistiu em um produto à base de níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo), denominado, neste estudo, como NiCoMo, no percentual 2,4, 1,4 e 26,0% p/p, respectivamente, nas doses de 160, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup>. O segundo fator foi o modo de aplicação no tratamento de sementes (TS) e no estágio vegetativo (V3). Realizou-se a colheita dos grãos por parcela, estimando as produtividades em t ha<sup>-1</sup>. Os dados de cada um dos ensaios individuais, para os dois anos, foram submetidos à análise de variância e, em seguida, verificou-se a semelhança dos quadrados médios do resíduo e a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual foi inferior a sete, permitindo à análise conjunta, fornecer informações para se determinar a dose de NiCoMo a ser utilizada na cultura de soja. A aplicação no tratamento vegetativo de NiCoMo promove maiores produtividades de grãos de soja ao sistema plantio direto (cultivo mínimo) com três anos. A área com sistema plantio direto (cultivo mínimo) com 15 anos proporciona produtividades maiores com a aplicação de NiCoMo no tratamento de sementes. A produtividade da soja é dependente de fatores, como doenças, condições climáticas, tipo de cultivar e época de semeadura.

**PALAVRAS-CHAVE:** fixação biológica de Nitrogênio, *Glycine max* L., práticas conservacionistas

### **ABSTRACT**

#### **CHAPTER 4: MICRONUTRIENTS IN SOYBEAN CULTURE IN DIRECT PLANTAINING SYSTEMS IN CLOSED SOILS.**

The essential micronutrients, nickel, cobalt and molybdenum, provide a better use of nitrogen because they are important for the metabolism of this nutrient, and the use of these with conservation practices such as no-tillage, yield gains in soybean yield. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of Ni, Co and Mo on the characterizes of soybean production, to evaluate the appropriate time for the supply of important micronutrients to the BNF process in areas with no-till systems of three and 15 years. The experiment was conducted in two areas of no-tillage system, three and 15 years old, in the experimental area of the Federal Institute of Triângulo Mineiro, Uberaba-MG. The experimental design was a randomized block design with four

replicates in a  $4 \times 2 + 1$  factorial treatment, in which the first factor consisted of a product based on nickel (Ni), cobalt (Co), molybdenum (Mo), denominated in the present work as NiCoMo, in the percentage 2,4; In the treatment of seeds (TS) and the vegetative stage, the second factor was the application mode, in the treatment of seeds (TS) and in the vegetative stage (V3). The grain's harvest was made per plot, estimating yields in  $t\ ha^{-1}$ . Data from each of the individual tests for the two years were subjected to analysis of variance and then the similarity of the average squares of the residue was verified and the ratio between the largest and the smallest residual mean square was less than seven, Allowing the joint analysis, providing information to determine the dose of NiCoMo to be used in the soybean crop. The application in the vegetative treatment of NiCoMo promotes better yields of soybean grains to the system of no-till (minimum cultivation) with three years. The area under no-till system (minimum cultivation) at 15 years provides higher yields with the application of NiCoMo in seed treatment. The soybean yield is dependent on factors such as diseases, climatic conditions, type of cultivar and sowing time.

Keywords: biological fixation of Nitrogen, *Glycine max* L., conservation practices

## 5.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é uma das principais regiões produtoras de soja, porém, devido à aplicação exagerada de fertilizantes e corretivos do solo, tornou-se necessária a condução de estudos com o objetivo de desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, no sentido de reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre esse ambiente. Isso se faz necessário porque neste, com as altas temperaturas e o uso de plantio convencional vem se acelerando o declínio dos estoques de carbono e nitrogênio de origem orgânica (FREIXO et al., 2002; TORRES et al., 2005; FONTANA et al., 2006). Consequentemente, ampliando a importância de estudos, que desenvolvam novas tecnologias que consiga um aumento no rendimento reduzindo a degradação do solo.

A adoção de práticas conservacionistas, como o plantio direto, sistema de manejo de produção agrícola que contribui para o aumento do sequestro de carbono e dos estoques de nutrientes no solo, principalmente quando associados à rotação de culturas (HEID et al., 2009; LOSS et al., 2012) são uns dos principais responsáveis pelo o aumento da produtividade da soja. Porém, como consequência disso, ocorre uma retirada crescente de micronutrientes dos solos, sem que se estabeleça uma reposição adequada (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

Os micronutrientes estão envolvidos em muitos processos fisiológicos da planta, portanto a avaliação dos efeitos isolados destes elementos, assim como a combinação de micronutrientes na fertilização é importante para elaboração de estratégias de manejo (QUEIROZ, 2012).

O níquel, cobalto e molibdênio foram classificados como elementos essenciais devido a sua participação na síntese da enzima urease, que, por sua vez, está envolvida nas principais rotas de assimilação do N (OLIVEIRA, 2009). Deste modo, este elemento é importante para as plantas que recebem adubações com ureia ou com seus derivados, exercendo papel importante no metabolismo do N (DECHEN; NACHTIGAL, 2007). As leguminosas têm como características a assimilação de N, sendo o atmosférico fixado como amônia nos nódulos radiculares e, para que ocorra melhor aproveitamento deste, é necessário a presença de micronutrientes essenciais.

Alguns trabalhos, demonstram que os micronutrientes essenciais elevam à produtividade, como Calonego et al., (2010) e Rocha et al. (2011) em feijão e Rodak (2014) em soja. Entretanto, Alovizi et al. (2011) constataram que o rendimento de grãos na soja não foi influenciado pela aplicação de níquel foliar.

São, porém, escassos estudos na literatura que demonstrem a melhoria da produtividade com o uso de Ni, Co e Mo para cultura da soja em sistemas plantio direto no Cerrado. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da aplicação do Ni, Co e Mo nas características produtivas da soja e a época adequada para o fornecimento dos micronutrientes importantes ao processo de FBN em áreas com sistemas plantio direto de três e quinze anos.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba – MG, localizado entre 19 °39'19" de latitude Sul e 47 °57'27" de longitude Oeste, numa altitude de 795 m, no período de dezembro de 2015 a abril de 2016.

O clima da região é classificado pelo método de Köppen, como Aw, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco. A precipitação anual média é de 1606 mm e a temperatura média anual é de 21,5 °C, com 1479 mm de pluviosidade média anual (ROLIM et al., 2007). As médias das temperaturas máximas, mínimas, precipitação e umidade relativa da localização do experimento durante o período de condução encontram-se na Tabela 21.

**Tabela 21.** Precipitação média – P (mm), temperatura máxima – T máx. (°C), temperatura mínima – T mín. (°C) e umidade relativa – UR.

	<b>P</b>	<b>T máx.</b>	<b>T mín.</b>	<b>UR</b>
<b>Dezembro</b>	276,20	31,40	20,23	76,85
<b>Janeiro</b>	315,20	29,71	21,06	82,16
<b>Fevereiro</b>	131,50	31,07	19,09	77,24
<b>Março</b>	292,0	29,94	20,25	77,72
<b>Abril</b>	316,45	31,16	17,67	62,40

Fonte: (INMET, 2017)

O experimento foi implantado em duas áreas com sistema plantio direto, uma com três anos e outra com área de quinze anos, anteriormente padronizado com a cultura do milho, sendo assim, a palhada é referente a esta cultura. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho escuro, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). A caracterização química do solo da área experimental segue nas Tabelas 22 e 23.

**Tabela 22.** Caracterização química do solo na área experimental de soja na área com plantio direto há três anos.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	T	V
cm	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
0 – 20	5,4	2,7	33,0	1,0	0,4	0,1	1,4	3,48	42,5

Prof.= Profundidade, P=Método Mehlich 1, P, K, Na = [HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>], S-SO<sub>4</sub> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L<sup>-1</sup>] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, SB= Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0.

Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFU).

**Tabela 23.** Caracterização química do solo na área experimental de soja na área com plantio direto há quinze anos.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	S.B	T	V
cm	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
0 – 20	4,9	11,0	61,7	0,6	0,3	0,3	0,2	3,8	31

Prof.= Profundidade, P=Método Mehlich 1, P, K, Na = [HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>], S-SO<sub>4</sub> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L<sup>-1</sup>] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, S.B= Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0.

Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFU).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 2 + 1 de tratamento adicional. O primeiro fator consistiu de um produto à base de níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo), denominado no presente trabalho como NiCoMo, no percentual 2,4, 1,4 e 26,0% p/p, respectivamente, nas doses de 160, 200, 240 e 280 g ha<sup>-1</sup>, o segundo fator foi o modo de aplicação no tratamento de sementes (TS), feito juntamente com a inoculação de bactérias, e o tratamento foliar foi realizado com o uso de uma bomba costal, em que se utilizou 200 L ha<sup>-1</sup>, no dia 10 de janeiro de 2016, no estágio vegetativo (V3), 24 dias após a semeadura, caracterizado pelo aparecimento do terceiro nó. Este estágio fenológico é quando o processo de fixação é mais ativo, sendo a principal razão para que este tenha sido escolhido e junto ao tratamento adicional ou testemunha (sem aplicação de micronutrientes).

As sementes foram tratadas com Standak ® Top, inseticida e fungicida na dose recomendada de 50 g ha<sup>-1</sup> de i.a., e o inoculante Masterfix® Soja, na dose recomendada de 100 ml ha<sup>-1</sup>. A semeadura da soja Monsoy 8210 cultivar Intacta foi realizada em 18 de dezembro de 2015, com uma densidade de 20 sementes por metro linear, estabelecendo parcelas de 4m x 9m, totalizando 44 parcelas.



No estágio V3 da soja, foi realizado o manejo de pós-emergência das plantas espontâneas com o herbicida glifosato associado à adubação foliar de 200 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial quelatizado à base de Mn. Efetuou-se três aplicações de fungicida sistêmico à base de estrobilurina e triazol, na dose de 300 ml ha<sup>-1</sup> cada aplicação, para o controle de doenças, sendo a primeira pulverização realizada no estágio R1, início do florescimento da soja.

Realizou-se uma fertilização de NPK na semeadura 05-25-25, na dose de 300 Kg ha<sup>-1</sup>, e, no estágio V2, realizou-se a aplicação de 28 g de Mn quelatizado, juntamente com a de glifosato para o controle de plantas infestantes. Efetuou, também, três aplicações de 300 ml ha<sup>-1</sup> cada aplicação, de Aproach Primma®, para o controle de doenças, sendo a primeira dose no estágio R1. A condução do experimento teve início na semeadura e término na colheita realizada em 15 de abril de 2016, correspondendo a uma safra.

A colheita foi realizada 119 dias após a semeadura, no dia 15 de abril de 2016, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica das culturas, R8, caracterizado por apresentar a cor madura em 95% das vagens. Além disso, efetuou-se a avaliação da produtividade de grãos de soja.

Partindo-se do rendimento de grãos nas parcelas, foram estimadas as produtividades em t ha<sup>-1</sup>. Os dados obtidos para a produtividade em cada um dos ensaios individuais, para os dois anos, foram submetidos à análise de variância; em seguida, verificou-se a semelhança dos quadrados médios do resíduo pelo teste de Hartley (RAMALHO et al., 2000) e a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002) foi inferior a sete, permitindo a análise conjunta. Esta, quanto às duas áreas sob sistema plantio direto, forneceu informações para se determinar a dose de NiCoMo a ser utilizada na cultura de soja.

### **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Ao analisar a aplicação de NiCoMo em estágio vegetativo nos dois sistemas plantio direto utilizados, constatou-se que a produtividade na área de três anos foi melhor que a produtividade na de 15 anos, independente da dose utilizada, esse incremento foi de aproximadamente 42% (Tabela 24).

**Tabela 24.** Produtividade de grãos (t ha<sup>-1</sup>) de doses de NiCoMo aplicadas em estágio vegetativo V3 na cultura da soja testados em dois sistemas plantio direto.

<b>Doses de NiCoMo</b> g ha <sup>-1</sup>	<b>3 anos</b>	<b>15 anos</b>	<b>Médias</b>
160	0,90	0,80	0,98 a
200	0,98	0,78	0,99 a
240	1,22	0,79	1,00 a
280	1,35	0,85	1,10 a
Testemunha	1,35	0,80	0,85 a
Controle	1,14	0,84	0,88 a
Médias	1,15A	0,81 B	
Fc Tratamento		0,39	
Fc Ano		7,18*	
Fc Trat x ano		0,20	
C.V. (%)		46,09	

\*diferença significativa a 0,05.

O plantio direto empregado em várias áreas leva em consideração somente a semeadura direta sobre a palhada da cultura anterior, ignorando o intuito conservacionista do sistema. Todavia, deve-se considerar também fatores ambientais, como as condições climáticas predominantes na região do Cerrado com temperaturas elevadas associadas a períodos de grande precipitação pluviométrica e períodos de alto déficit hídrico, proporcionando altas taxas de decomposição desses resíduos vegetais, o que compromete a viabilidade deste sistema (FIORENTIN et al., 2011; PACHECO et al., 2011; CARMEIS FILHO et.al., 2014).

De acordo com a Tabela 24, observou-se que, no sistema plantio direto com 15 anos, o solo estava mais acidificado e com uma saturação de bases menor do que na área de 3 anos, o que demonstra que, ao longo dos anos, o plantio direto deixou de ser eficiente na área, podendo esse ser caracterizado como “falso” plantio direto.

O sistema plantio direto ao longo dos anos, sem uma adequada manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo, pode impulsionar o grau de compactação do solo, sendo necessária a realização do revolvimento deste e a replantação do sistema de plantio direto, fazendo-se assim um devido manejo da cobertura do solo. Ao utilizar uma cultura com relação C/N alta, como o milho utilizado nas duas áreas, os organismos presentes no solo usarão o N disponível, proveniente do solo e dos fertilizantes (ANDREOLA et al., 2000; PERIN et al., 2004; Da SILVA et al., 2010). Ao se fazer a sucessão com plantas com relação C/N diferentes a intercalação de uma cultura que sirva de cobertura morta entre as duas safras anuais, promove-se uma estabilização da matéria orgânica e mineralização mais rápida dos nutrientes

provenientes dos resíduos orgânicos. Com a semeadura dessas plantas logo após a colheita da cultura principal, aproveita-se as últimas precipitações da estação chuvosa.

O sistema plantio direto é caracterizado por manter o não-revolvimento do solo, influenciando na dinâmica do nitrogênio. Esse nutriente é o que mais limita o desenvolvimento, produtividade e biomassa da maioria das culturas, de modo que, quando suprido pelo solo, na maioria dos casos, não é suficiente para garantir altas produtividades, havendo necessidade de um aporte externo desse elemento ao sistema (FREIRE et al., 2000).

O uso de Ni, Co e Mo é responsável para que o N atmosférico fixado pelas leguminosas, assim como a soja, seja melhor aproveitado pela planta, aumentando a produtividade, porém, no presente trabalho, não se constatou esse incremento ao se utilizar os micronutrientes essenciais, visto que não ocorreu nenhuma diferença relevante para os tratamentos em que se utilizaram esses no tratamento testemunha.

A matéria orgânica desempenha um importante papel na disponibilidade de nutrientes, pois a maior parte da Capacidade de Troca Catiônica CTC desses solos é devida aos colóides orgânicos, porém a CTC é fortemente ligada ao pH. Isso pode promover uma menor disponibilidade de nutrientes, como o N. O uso de Ni, Co e Mo está relacionada ao metabolismo do N na planta, porém, se o solo está ácido e não é feita uma devida correção, o N não será absorvido pela planta, com isso os devidos nutrientes não irão agir.

Outro fator é a utilização de fertilizantes minerais que podem ter promovido a mineralização da matéria orgânica, que tem como característica a acidificação do solo, o que se pode comprovar ao se analisar o valor do pH nas duas áreas antes do experimento, Tabela 25, de modo que, na área com maior tempo de sistema plantio direto, 15 anos, o pH foi menor.

**Tabela 25.** Produtividade de grãos (t ha<sup>-1</sup>) de doses de NiCoMo aplicadas em tratamentos de sementes na cultura da soja testados em dois sistemas plantio direto.

<b>Doses de NiCoMo</b> g ha <sup>-1</sup>	<b>3 anos</b>	<b>15 anos</b>	<b>Médias</b>
160	0,81	0,77	0,88 a
200	0,80 b	1,31 a	0,91
240	0,93	1,05	0,99 a
280	0,81	1,02	1,05 a
Testemunha	0,58	0,72	0,65 a
Controle	0,76	1,01	0,79 a
Médias	0,78 B	0,98 A	
Fc Tratamento		1,55	
Fc Ano		4,26*	
Fc Trat x ano		0,63*	
C.V. (%)		36,82	

\*diferença significativa a 0,05.

No tratamento de sementes constatou-se que a utilização na área de 15 anos na dose recomendada, 200 g ha<sup>-1</sup>, promoveu um incremento em relação à área de 3 anos, sendo esse aumento de 63,8% na produtividade, para as demais doses não ocorreu interferência dos anos de produção. A aplicação de micronutrientes FBN potencializa o uso de fertilizantes nitrogenados por promover maior atividade enzimática da urease na planta Kutman et al. (2013), o que explicaria os resultados encontrados, visto que não foi aplicado nenhum produto com N.

O tratamento de sementes pode ter facilitado a germinação e emergência da soja, visto que foi realizada a aplicação dos micronutrientes essenciais juntamente com o N na semeadura, com isso a aplicação de NiCoMo na soja no sistema de plantio de 15 e 3 anos, mesmo sem ter dado diferença significativa, promoveu melhor desenvolvimento da cultura observada (Tabela 25).

A aplicação de Ni, Co e Mo potencializa o uso de fertilizantes nitrogenados por promoverem uma maior atividade enzimática da urease na planta (KUTMAN et al., 2013). Com isso, a influência dos micronutrientes no complexo enzimático hidrogenase, aumenta a eficiência da fixação de nitrogênio em leguminosas (LOPES et al., 2014), corroborando com resultado encontrado, uma vez que, mesmo não interferindo estatisticamente na produtividade, esses promoveram variações positivas na produtividade ao comparar com o tratamento testemunha, em que não foi aplicado nenhum dos nutrientes estudados (Tabela 25), em ambos sistemas plantio direto.

Independentemente, porém, da dose, o uso de NiCoMo na área com plantio direto há 15 anos promoveu um aumento significativo em relação à área de 3 anos, de 25,7% no rendimento da soja. Isso pode ser relacionado à maior quantidade de palhada na área de 15 anos, visto que se utilizou o milho nas duas áreas como cultura antecessora da soja. Considerando-se que aquela possui uma alta relação C/N e que, então, seu período de decomposição é mais lento, ou seja, quanto mais tempo utilizado maior será a quantidade de palhada produzida, que é utilizada como cobertura do solo, tendo como alguns dos seus benefícios, a reciclagem dos nutrientes e redução da erosão, consequentemente diminuindo perdas de solo e nutrientes.

Os micronutrientes, Ni, Co e Mo, são responsáveis para que o N atmosférico, fixado pelas leguminosas, assim como a soja, seja melhor aproveitado pela planta, diminuindo a necessidade do uso excessivo de adubos nitrogenados.

A baixa produtividade em todas as áreas, visto que a média nacional é de 2,87 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016), pode estar relacionada a cultivar de soja utilizada na área, a M8210, caracterizada como soja precoce. A janela recomendada de semeadura deste grupo é até a segunda quinzena de novembro, porém a semeadura foi realizada somente na segunda quinzena de dezembro, ou seja, tardia. Isto levou à antecipação da floração da soja devido ao fotoperíodo da época em que foi semeada ser maior que o crítico para a planta, o que estimula o início precoce do estágio reprodutivo, antes de estar fisiologicamente desenvolvida. Outro motivo para a baixa produtividade foi a estiagem severa (Tabela 21) na época em que a soja estava em estágio reprodutivo, o que interferiu negativamente no enchimento dos grãos, consequentemente diminuindo a produção de grãos de soja.

Foi realizado o controle preventivo da ferrugem asiática na área, porém se utilizou fungicidas à base de triazol e estrobilurina, que têm baixo controle das novas estirpes do fungo, o que dificulta o controle deste. Isto foi comprovado na área em questão, visto que esta sofreu um severo ataque de fungos, o que diminuiu drasticamente a produção da área.

## 5.4 CONCLUSÕES

A aplicação no tratamento vegetativo de NiCoMo promove maiores produtividades de grãos de soja no sistema plantio direto (cultivo mínimo) com três anos.

A área com sistema plantio direto (cultivo mínimo) com 15 anos proporciona produtividades maiores com a aplicação de NiCoMo no tratamento de sementes.

A produtividade da soja é dependente de fatores, como doenças, condições climáticas, tipo de cultivar e época de semeadura.

## 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOVISI, A. M. T.; MAGRI, J.; DUTRA, J. E.; MAGRI, E.; SANTOS, M. J. G.; ALOSIVI, A. A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Valinhos, v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p.857-865, 2000.

CALONEGO, J. C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARBOSA, R. D.; LEITE, G. H. P.; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 334-340, 2010.

CARMEIS FILHO, A.; CUNHA, L. da; PAGAN, T.; MINGOTTE, C.; LUIZ, F.; AMARAL, C. B. D.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada no feijoeiro após palhada de milho e braquiária no plantio direto. **Revista Caatinga**, Mossoró, p. 66-75, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_09\\_09\\_15\\_18\\_32\\_boletim\\_12\\_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf)>. Acesso em: 02 de fev. de 2017

SILVA, P. C. G. da; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRIRTAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1504-1512, 2010.

DECHEN A. R; NACHTIGALL G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS R. F; ALVAREZ V.V.H; BARROS N. F; FONTES R. L. F; CANTARUTTI R. B; NEVES J. C. L (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FIORENTIN, C. F.; LEMOS, L. B.; JARDIM, C. A.; FORNASIERI FILHO, D. Formação e manutenção de palhada de gramíneas concomitante a influência da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro irrigado em sistema de semeadura direta. **Bragantia, Campinas**, p. 917-924, 2011.

- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.
- FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 49-62, 2000.
- FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. D. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.
- HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Organics fractions and stability of aggregate of a dystroferic Red Latosol under different uses. **Revista de Ciências Agrárias**, Fortaleza, n. 51, p. 143-160, 2009.
- KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; ÇAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, The Hague, M. Nijhoff, v. 363, n. 1-2, p. 61-75, 2013.
- LOPES, J. F.; COELHO, F. C.; RANGEL, O. J. P.; RABELLO, W. S.; GRAVINA, G. de A.; VIEIRA, H. D. Adubação foliar com níquel e molibdênio no feijoeiro comum cv. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 234, 2014.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2012.
- OLIVEIRA, T. C. **Atividade da urease e crescimento de alface no solo em resposta à níquel**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 40p.
- PACHECO, Leandro Pereira; LEANDRO, Wilson Mozena; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 35-40, 2004.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002.
- QUEIROZ, C. de S. **Níquel, outros micronutrientes e silício e a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja (*Glycine max*)**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A.C. de. **Experimentação genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.

ROCHA, P. R. R.; ARAÚJO, G.A.A.; CARNEIRO, J.E.S.; CECON, P.R.; LIMA, T.C. Adubação molibídica na cultura do feijão nos sistemas de plantio de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, p.9-17, 2011.

RODAK, B. W. **Níquel em solos e na cultura de soja**. 2014. 101p. . Tese de Mestrado. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

SFREDO, G. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Soja: molibdênio e cobalto. Londrina: Embrapa Soja, 2010. **Documentos (INFOTECA-E)** - Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; 322).

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 618, 2005.