UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

GABRIEL ASA CORRÊA GRUBERGER

Enriquecimento de sementes de soja com cobalto e molibdênio

Piracicaba
2016

GABRIEL ASA CORRÊA GRUBERGER

Enriquecimento de sementes de soja com cobalto e molibdênio

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior

Piracicaba

2016

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Gruberger, Gabriel Asa Corrêa

Enriquecimento de sementes de soja com cobalto e molibdênio / Gabriel Asa Corrêa Gruberger; orientador Cassio Hamilton Abreu Junior. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

75 p. : il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1 Fixação de nitrogênio 2. Germinação de sementes 3. Inoculação 4. Leguminosas forrageiras 5. Micronutrientes 6. Nodulação 7. Nutrição vegetal 8. Relação solo-planta 9. Tecnologia de fertilizantes 10. Translocação vegetal I. Título

CDU 631.53.02 : 631.811

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Léa Corrêa, por ser um exemplo de mulher guerreira, dedicada e responsável, que sempre nutriu amor incondicional pela nossa família.

Ao meu pai, Norberto Gruberger, por seus ensinamentos, companheirismo e por todo o incentivo em todas as fases da minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pela oportunidade de uma formação sólida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas oferecidas nos primeiros meses e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro referente ao processo nº 2014/26259-3.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior, pelo apoio, motivação, ensinamentos e confiança.

Ao Prof. Dr. Silvio Moure Cícero e toda a equipe do Laboratório de Tecnologia de Sementes da ESALQ, em especial à Helena M.C.P. Chamma pelas sugestões e apoio às análises das sementes.

Ao Prof. Paulo Roberto de Camargo e Castro pelas orientações.

À minha namorada, Ana Claudia Pereira Cuenca, pelo suporte, colaboração, amizade, e participação na condução e desenvolvimento do experimento e dissertação.

À empresa Produquímica, em especial aos engenheiros agrônomos Ithamar Prada e Fábio Scudeler, pela disponibilização da área para a realização do experimento de campo e pela colaboração com a implantação e condução da pesquisa.

À empresa FT® Sementes, em especial ao engenheiro agrônomo José Maurício Terasawa, pela colaboração no experimento.

À minha amiga Carolina Grando, pela amizade e ensinamentos.

À professora Sônia Maria de Stefano Piedade e aos alunos de pós graduação do Departamento de Engenharia da ESALQ, Hiron e Altemir, pelo auxílio no desenvolvimento da análise estatística.

A todos os moradores e ex-moradores da República NO-TALO, pelo companheirismo.

À equipe da biblioteca do CENA, em especial à Marília Ribeiro Garcia Henyei pelo suporte às pesquisas e pela revisão documental da presente dissertação.

Ao Prof. Dr. José Lavres Júnior, pelas orientações na elaboração da presente dissertação.

Ao Engenheiro Agrônomo Marcio Montechese pelos valiosos ensinamentos práticos sobre a cultura da soja.

À equipe de funcionários, pós-graduandos e estagiários do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas “Eurípedes Malavolta”: Cleusa, Suzi, Cris, Antônio, Caroline, Fernando, Flávio, Joaquim e Élcio.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe. ”

Leonardo da Vinci

RESUMO

GRUBERGER, G. A. C. **Enriquecimento de sementes de soja com cobalto e molibdênio**. 2016. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

A aplicação de cobalto (Co) e molibdênio (Mo) diretamente às sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma prática comum no cultivo dessa leguminosa no Brasil. Porém, esta técnica apresenta limitações, provocando fitotoxicidade na planta, interferindo na absorção de ferro (Fe) pelas raízes, diminuindo a população das bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* nas sementes e aumentando uma etapa no pré-plantio. Uma maneira de contornar essas limitações seria a utilização de sementes enriquecidas com Co e Mo. Contudo, há carência de pesquisas com a finalidade de aumentar o teor de Co nas sementes de soja, haja vista que o potencial de enriquecimento com Mo já foi demonstrado. O objetivo do presente projeto foi determinar a viabilidade de enriquecimento de sementes de soja com Co e Mo e relacionar o enriquecimento ao potencial fisiológico das sementes. O projeto foi composto por dois experimentos. O primeiro experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba (SP). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial (4x2)+1 e (4x2)+2, composto por 4 doses de Co, 2 variedades de soja, 2 formas de aplicação e o controle sem Co e Mo. Plantas de duas variedades de soja (uma de ciclo longo e outra precoce) foram cultivadas em vasos contendo 3 dm^3 de amostra de solo arenoso. No estádio fenológico de desenvolvimento R5.4 (início do enchimento das sementes), aplicou-se, via solo e via folha, os seguintes tratamentos de Co + Mo (g ha^{-1}): 0+800, 10+800, 20+800 e 30+800, além de um controle sem Co e Mo. O segundo experimento foi conduzido em campo, no Centro de Pesquisa Geraldo Schultz, em Iracemápolis (SP). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 6 repetições. As doses de Co + Mo e a variedade de soja utilizadas foram idênticas às do experimento realizado em casa de vegetação, no entanto, a aplicação em campo foi exclusivamente via foliar e a variedade utilizada foi a de ciclo longo. Foram avaliados os teores de Co e Mo no solo, folhas e sementes; os índices de clorofila (IC), de flavonóides (IF) e de balanço de nitrogênio (NBI); a germinação; e o vigor das sementes enriquecidas, utilizando o método de Envelhecimento Acelerado e a análise computadorizada de plântulas, com o auxílio do software SVIS® (*Seed Vigor Imaging System*). Foi verificada viabilidade no enriquecimento de sementes de soja com Co e Mo, sendo que a variedade mais precoce apresentou maiores teores de Co e Mo nas sementes. O enriquecimento das sementes com Co interferiu positivamente no vigor das sementes, obtendo-se melhor desempenho com a aplicação de 20 g ha^{-1} de Co. O enriquecimento com Mo, no entanto, não alterou o vigor das sementes. A aplicação foliar proporcionou maiores teores de Co nas sementes, em comparação à aplicação via solo. A aplicação via solo, porém, proporcionou maiores teores de Mo nas sementes em comparação à aplicação via foliar.

Palavras-chave: Cobalto. Enriquecimento. Micronutrientes. Molibdênio. Sementes de soja.

ABSTRACT

GRUBERGER, G. A. C. **Soybean seed enrichment with cobalt and molybdenum**. 2016. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

The application of cobalt (Co) and molybdenum (Mo) directly to soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds is a common practice in Brazil. However, this technique presents limitations, provoking phytotoxicity, interfering in the absorption of iron by roots, decreasing the population of nitrogen-fixing bacteria of the genus *Bradyrhizobium* in the seeds, and requiring an additional step in the pre-planting stage. One way to overcome these limitations would be to use seeds enriched with Co and Mo. However, there is a lack of research aimed at increasing Co content in soybean seeds, since the potential for enrichment with Mo has already been established. The aim of this study is to determine the feasibility of enriching soybean seeds with both Co and Mo and to relate the enrichment to increase in the physiological quality of the seeds. The project consists of two experiments. The first experiment was carried out under greenhouse conditions, located at the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA / USP), in Piracicaba (SP). The experimental design was completely randomized, with three replications, in a factorial scheme (4x2)+1 and (4x2)+2 of which 4 Co doses, 2 varieties, 2 application modes and the control without Co and Mo. Plants of two soybean varieties (one long and one precocious cycle) were grown in pots containing 3 dm3 of sandy soil. The following treatments of Co and Mo (g ha-1) were applied: 0 + 800, 10 + 800, 20 + 800, 30 + 800, via leaf and soil, after planting, at the R5.4 phenological stage of development. The second experiment was conducted in the field, at Geraldo Schultz research center, in Iracemápolis (SP), using only the long cycle genotype. The doses of Co + Mo used were identical to those of the greenhouse experiment; however, the application was exclusively via leaf. The experimental design was in randomized blocks with 6 replications. Co and Mo content in soil, leaves and seeds as well as indices for chlorophyll (IC), flavonoids (IF), nitrogen balance (NBI), germination and vigor of enriched seeds were evaluated by means of Accelerated Aging and computer analysis of seedlings by means of SVIS® (*Seed Vigor Imaging System*) software. Enrichment of soybean seeds by means Co and Mo proved to be viable, with the earlier varieties having a higher Co and Mo content in the seeds. Seed vigor was positively influenced by Co enrichment; best results were obtained with application of 20 g ha-1 of Co. Enrichment with Mo, however, had no influence on seed vigor. Application via leaf resulted in higher levels of Co in seeds compared to application carried out via soil. On the other hand, application via soil resulted in higher levels of Mo in seeds in comparison to application carried out via leaf.

Keywords: Cobalt. Enrichment. Micronutrients. Molybdenum. Soybeans seeds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta (IPNI, 2012)..... 25
Figura 2 - Teores de Co nas sementes em função de doses de Co aplicadas via foliar (■) e via solo (▲). 44
Figura 3 - Teores de Co nas folhas em função de doses de Co aplicadas via foliar (■)..... 46
Figura 4 - Teores de Co nas sementes em função de doses de Co aplicadas via foliar variedade FTS (■) e variedade MNST (▲)..... 52
Figura 5 - Teores de Co na parte aérea em função de doses de Co aplicadas via foliar nas variedades FTS e MNST (■). 54
Figura 6 - Teores de Co nas sementes (◆), em função de doses de Co aplicadas via foliar. 59
Figura 7 - Teores de Co foliar (◆), em função de doses de Co aplicadas via foliar..... 61
Figura 8 - Valores do envelhecimento acelerado (◆), em função das doses de Co, aplicadas via foliar. 63
Figura 9 - Influência das doses de Co e Mo no Índice de Vigor (IV) e Índice de crescimento (IC) nas sementes de soja obtidos pelo SVIS®. Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 64
Figura 10-Diferença no desenvolvimento de plântulas de soja analisadas pelo SVIS® em função de diferentes doses Co aplicadas via foliar. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise física do solo - Casa de vegetação.....30
Tabela 2 - Análise química dos macronutrientes do solo - Casa de vegetação.....30
Tabela 3 - Análise química dos micronutrientes e Co no solo- Casa de vegetação 31
Tabela 4 - Esquema dos tratamentos aplicados no experimento 1, contendo Co e Mo, com as respectivas doses e formas de aplicação nas diferentes variedades.....32
Tabela 5 - Análise física do solo, bloco experimental - Ensaio em campo.....36
Tabela 6 - Análise química de macronutrientes - Ensaio em campo.....36
Tabela 7 - Análise química dos micronutrientes e Co no solo- Ensaio em campo 36
Tabela 8 - Descrição do tratamento aplicado no experimento de campo.....37
Tabela 9 - Teores de Co e Mo nas sementes de soja em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar e via solo 43
Tabela 10 - Teor de Co e Mo na parte aérea em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar ou via solo.....45
Tabela 11 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar e via solo.....47
Tabela 12 - Componentes da produção e IC, IF e NBI, em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo 48
Tabela 13 - Teores de macro e micronutrientes nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo 49
Tabela 14 - Teores de macro e micronutrientes na parte aérea em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo 50
Tabela 15 - Teores de Co e Mo nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar em diferentes cultivares de soja 51
Tabela 16 - Teores de Co e Mo na parte aérea em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes cultivares de soja 53
Tabela 17 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes cultivares de soja.....55
Tabela 18 - Componentes da produção e IC, IF e NBI em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar em diferentes variedades de soja.....56
Tabela 19 - Teores de macro e micronutrientes nas sementes em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes variedades de soja.....57

Tabela 20 - Teores de macro e micronutrientes na parte aérea em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes variedades de soja 58
Tabela 21 - Teores de Co e Mo nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar 59
Tabela 22 - Teores foliares de Co e Mo nas folhas em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar 60
Tabela 23 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar 61
Tabela 24 - Valores das médias da germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), índice de vigor (IV), índice de uniformidade de desenvolvimento (IU) e índice de crescimento (IC), em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar 62
Tabela 25 - Valores das médias da produtividade de sementes (kg ha^{-1}) em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar 65
Tabela 26 – Teores de macro e micronutrientes nas sementes, em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar 66
Tabela 27 – Teor de macro e micronutrientes nas folhas, em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar 67
Tabela 28 - Valores das médias do IC, IF e NBI em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar 67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO DA LITERATURA 21
2.1 Importância das reservas nutricionais das sementes para o desenvolvimento da cultura 21
2.2 Enriquecimento de sementes de soja com Co e Mo 22
2.2.1 Estádio fenológico de aplicação visando o enriquecimento das sementes 24
2.3 Qualidade Fisiológica das sementes 25
2.4 Cobalto e molibdênio no solo e na planta 26
2.4.1 Cobalto 26
2.4.2 Molibdênio 28
2.5 Fixação biológica de nitrogênio 28
3 MATERIAL E MÉTODOS 30
3.1 Experimento casa de vegetação 30
3.1.1 Caracterização do Experimento 30
3.1.2 Análise estatística 35
3.2 Experimento campo 35
3.2.1 Caracterização do experimento 35
3.2.2 Análise estatística 41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
4.1 Experimento casa de vegetação 42
4.1.1 Formas de aplicação 42
4.1.2 Cultivares 50
4.2 Experimento de campo 58
4.2.1 Teores de Co e Mo nas sementes 58
4.2.2 Teores de Co e Mo nas folhas 60
4.2.3 Teores de Co e Mo no solo 61
4.2.4 Qualidade Fisiológica das sementes 62
4.2.5 Produtividade 65
4.2.6 Teores de macro e micronutrientes nas sementes 66
4.2.7 Teores de macro e micronutrientes nas folhas 66
4.2.8 Análise Dualex do IC, IF e NBI 67
5 CONCLUSÕES 68
REFERÊNCIAS 69

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância no cenário mundial. Seus grãos atendem o mercado de produção de óleo, farinhas e bebidas (PAIVA; ALVES; HELENO, 2006). O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de soja: a safra brasileira de soja encerrou 2016 com produção recorde de 103,5 milhões de toneladas, obtida numa área de 30 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016).

A produção de soja no Brasil é viabilizada economicamente graças a capacidade desta cultura de fixar o N atmosférico, em associação com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum*, através do processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN), processo responsável pela conversão do nitrogênio (N) atmosférico em compostos nitrogenados que podem ser absorvidos pela planta. (VARGAS et al., 1994). Caso o fornecimento de nitrogênio para a cultura da soja tivesse que ser efetuado via adubação nitrogenada seria necessário para uma produção média de 3000 kg ha^{-1} (produtividade média da soja na safra 2016/2017) um total de 720 kg uréia ha^{-1} (considerando uma eficiência de apenas 60%), a um custo médio (novembro de 2016) de R$ 906,00/ha. O custo por hectare da inoculação é de R$ 8,00. Ou seja, com o processo de inoculação são economizados R$ 898,00/ha. Se considerarmos os 30,1 milhões de hectares plantados com soja no Brasil, a economia proporcionada pela não utilização de adubos nitrogenados é da ordem de R$ 27 bilhões anuais, algo em torno de US$ 9 bilhões de dólares (EMBRAPA,2014).

A FBN é seriamente afetada quando ocorre deficiência de Mo, tendo em vista que este nutriente faz parte da enzima nitrogenase, responsável pelo processo da fixação do N atmosférico. O mesmo ocorre com a deficiência do Co, o qual tem influência na absorção de N, ao participar das reações metabólicas para a formação da leghemoglobina, enzima presente em todas as leguminosas com participação direta na FBN (CERETTA et al., 2005).

Para que se atinja a liderança como maior produtor mundial de soja, ou mesmo para manter-se na atual posição, o Brasil necessita desenvolver novas tecnologias que aumentem a produtividade desta cultura (USDA, 2016). Entre as tecnologias testadas e recomendadas aos produtores de soja, está o fornecimento de cobalto (Co) e molibdênio (Mo) às sementes (SFREDO; OLIVEIRA, 2010; BROCH; RANNO, 2005; HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001), os quais são elementos essenciais para a ocorrência da FBN.

O fornecimento de Co e Mo para a soja é realizado, normalmente, através do tratamento de sementes (TS), o qual consiste na aplicação direta desses micronutrientes à superfície das sementes. No entanto, o TS com Co e Mo apresenta algumas desvantagens ao agricultor diminuindo a população das bactérias fixadoras de N nas raízes (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001), podendo apresentar efeito inibitório na absorção de ferro (Fe) gerado pelo Co aplicado no TS (SFREDO; OLIVEIRA, 2010) e aumentando uma etapa pré-plantio, em função da necessidade do TS.

Uma alternativa ao TS seria a produção de sementes de soja enriquecidas com Co e Mo via aplicação foliar destes elementos durante a fase reprodutiva da planta de soja progenitora. A literatura, no entanto, não apresenta consenso quanto a esta prática, principalmente no que diz respeito à viabilidade do enriquecimento das sementes com Co, à melhora da qualidade fisiológica das sementes produzidas e, também, quanto aos teores suficientes destes elementos nas sementes para nutrir a nova planta até que complete seu ciclo de vida.

Caso o processo de produção de sementes enriquecidas com Co e Mo fosse viável, estabelecer ia-se uma alternativa às sementeiras para agregar valor e diferenciar seu produto. Para os produtores de grãos representaria uma nova tecnologia conferindo maior praticidade às operações de semeadura e maior qualidade às sementes além de ser uma nova tecnologia de fornecimento de Co e Mo à planta de soja e às bactérias fixadoras de N.

A hipótese de pesquisa considera a viabilidade de se enriquecer sementes com Co e Mo através da aplicação desses elementos na planta progenitora na fase do florescimento e enchimento de grãos. Acredita-se que sementes enriquecidas com Co e Mo, apresentem qualidade fisiológica superior às sementes não enriquecidas. Desta maneira os pontos essenciais desta pesquisa são:

- Verificar a viabilidade de aumento dos teores de Co e Mo em sementes de soja;
- Verificar se o enriquecimento das sementes com Co e Mo altera a qualidade fisiológica das sementes;
- Verificar diferenças no acúmulo de Co e Mo em duas variedades de soja em função de da aplicação desses elementos via folhar e via solo;
- Determinar se a aplicação de Co e Mo na fase reprodutiva da cultura altera a produtividade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Dourado Neto (2012), a deficiência de Co e Mo na soja e nas demais culturas está se acentuando com o passar dos anos. Isto ocorre, possivelmente, em função da exportação destes elementos pelas culturas na forma de grãos, fibras, colmos e demais produtos agrícolas, o que resultaria na diminuição da sua disponibilidade nos solos cultivados. Dessa forma, à medida que a agricultura se intensifica e as produtividades aumentam, cria-se uma necessidade crescente de se aprimorar tecnologias alternativas para o fornecimento desses elementos, especialmente à cultura da soja.

Tanto o Co quanto o Mo podem ser fornecidos à soja através do TS e da aplicação foliar. Entretanto, o fornecimento de Co e Mo é feito usualmente por meio do TS. Contudo, vários estudos demonstram que a aplicação de Co e Mo via semente diminui a nodulação e a eficiência da FBN (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; SILVA et al., 2011), isso porque a aplicação de formas salinas desses elementos nas sementes pode afetar drasticamente a sobrevivência das bactérias e a nodulação e fixação do N_2, sendo a aplicação foliar e o enriquecimento de sementes alternativas para se contornar este problema (CAMPO; ARAUJO; HUNGRIA, 2009).

2.1 IMPORTÂNCIA DAS RESERVAS NUTRICIONAIS DAS SEMENTES PARA O DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

A disponibilidade de nutrientes para as plantas influi na formação do embrião e dos órgãos de reserva, influenciando, também, na composição química da semente e afetando, consequentemente, a qualidade da semente. A qualidade fisiológica (vigor, germinação e viabilidade) pode afetar o potencial de armazenamento do lote e persistir no campo, influenciando o estabelecimento da cultura, o desenvolvimento da planta, a uniformidade da lavoura e a sua produtividade (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Qualquer fator, biótico e, ou abiótico, que afete negativamente a qualidade fisiológica das sementes durante o seu desenvolvimento trará consequências adversas para a produtividade da cultura, principalmente quando as sementes forem submetidas a condições ambientais adversas (ARNOLD; FENNER; EDWARDS, 1992; WELCH, 1986).

O teor de nutrientes nas sementes é um fator essencial para o bom desenvolvimento da planta, afetando positivamente a produção de sementes, pois poderá influenciar fatores como germinação, emergência de plântulas e potencial de armazenamento (MAEDA; DO LAGO; DE TELLA, 1986). Quantidade significativa da reserva de nutrientes nas sementes pode ser

adquirida a partir dos tecidos vegetativos, dessa forma, tanto o tamanho quanto o número de sementes produzidas pela planta progenitora serão altamente influenciados pelo seu status nutricional no momento do florescimento e da formação das vagens. A disponibilidade de nutrientes durante o desenvolvimento da planta progenitora é um fator que pode influenciar a qualidade fisiológica das sementes e a habilidade dessas sementes se desenvolverem em ambientes que lhe ofereçam condições adversas de fertilidade (RENGEL, 1999).

Todos os fatores ambientais e suas interações, que influenciam o desenvolvimento das plantas, têm potencial para afetar o complexo e dinâmico processo que controla a formação e o desenvolvimento das sementes e de suas reservas. Normalmente, os efeitos da deficiência nutricional nas sementes são indiretos, resultado do efeito direto causado no desenvolvimento da planta progenitora e, consequentemente, alteram a qualidade das sementes produzidas (WELCH, 1986).

Quanto maiores as reservas nutricionais das sementes (amido, proteínas, lipídios e elementos minerais), maior será a sua qualidade fisiológica e sua capacidade de se desenvolver em condições de estresses ambientais. Além disso, qualquer reserva nutricional contida na semente, que participe do desenvolvimento da plântula, pode ser determinante para a sua sobrevivência e para um bom estabelecimento da cultura (RENGEL, 1999). Portanto a obtenção de sementes com maiores reservas nutricionais é um fator relevante para o desenvolvimento adequado das culturas.

2.2 ENRIQUECIMENTO DE SEMENTES DE SOJA COM CO E MO

Na Tecnologia de Produção de Sementes, todas as fases da produção têm importância elevada para obtenção de sementes com alta qualidade física fisiológica e sanitária. Campos cultivados com sementes de alta qualidade tendem a apresentar melhores índices de produtividade (KOLCHINSKI; SCHUCH; PESKE, 2005).

Dentre as tecnologias testadas e recomendadas ao produtor de sementes, podemos citar o enriquecimento de sementes de soja com Mo via aplicação foliar durante a fase reprodutiva (POSSENTI; VILLELA, 2010). Para obtenção de sementes de soja enriquecidas com Mo, é recomendado realizar duas aplicações foliares de 400 g ha^{-1} de Mo, utilizando-se uma fonte solúvel em água nos estádios reprodutivos R3 e R5.4, com intervalo de no mínimo 10 dias (EMBRAPA, 2004). No entanto, Milani et al. (2007) verificaram a possibilidade de enriquecer sementes de soja com Mo, utilizando molibdato de sódio (39% Mo) em doses únicas ou parceladas via adubação foliar. Os autores observaram que houve diferença no

acúmulo de Mo nas sementes, com aumento linear deste micronutriente em função das doses. No entanto, não observaram diferença no acúmulo de Mo em função do parcelamento das doses.

A recomendação média de aplicação de Co e Mo no TS da cultura de soja é de 18,5 g ha^{-1}para Mo e 2,5 g ha^{-1} para Co (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). Em solos deficientes em Co, a reserva nutricional deste elemento na semente de soja pode ser fundamental para que a planta adquira o N necessário para completar seu ciclo, pelo fato de o Co ser essencial para que a fixação do N atmosférico ocorra nos nódulos (GEORGE; MARSCHNER; JAKOBSEN, 1995).

Sementes de leguminosas podem estocar teores de Co necessários para realizar a FBN, aproximadamente 0,2 mg kg^{-1} em sementes de tremoço (*Lupinus angustifolius*) foram suficientes para o desenvolvimento da planta em solos deficientes em Co e N, e 0,1 mg kg^{-1} foram suficientes para o desenvolvimento da planta em solos deficientes apenas em Co (GLADSTONES; LONERAGAN; GOODCHILD, 1977).

Sementes de soja apresentam composição química bastante variável, durante sua formação, acumulam reservas de N, carboidratos, lipídios e minerais. Em alguns casos, especialmente para micronutrientes como Mo, a reserva interna da semente pode ser suficiente para que a planta possa crescer sem dependência externa. Para macronutrientes como N, P, Ca e Mg, é pouco provável que só a reserva interna da semente seja suficiente para a planta complementar seu ciclo. Isto ocorre devido à maior necessidade quantitativa destes elementos para o crescimento e desenvolvimento das plantas (JACOB-NETO; FRANCO, 1986).

De acordo com Trigo et al. (1997), maior teor de Mo nas sementes poderia estar relacionado com melhor qualidade fisiológica, o que resulta em melhor estabelecimento da plântula e pode repercutir no aumento do rendimento da cultura. É interessante ressaltar que cerca de 70% do Mo absorvido pela soja é exportado pelos grãos (OLIVEIRA et al., 2007).

O aumento da qualidade fisiológica de sementes de soja, em função do enriquecimento com elementos essenciais à FBN, tem sido variável. Pesquisas recentes não demonstraram aumento significativo da qualidade das sementes em função do enriquecimento com Mo (POSSENTI, 2007; MILANI, 2007). No entanto, Guerra et al. (2006) obtiveram resposta significativa no aumento da qualidade de sementes de soja em função da adubação de soja com Co e Mo.

Harris et al. (1965 apud FONSECA, 2006) salientaram a importância da seleção de sementes com diferentes concentrações de Mo, em estudos que visavam medir os efeitos da aplicação deste elemento. Estes mesmos autores, trabalhando com sementes oriundas de várias regiões dos Estados Unidos, perceberam que as sementes provindas do Texas não respondiam à aplicação de Mo. O solo do Texas é rico nesse micronutriente e seu teor nos grãos de soja chega a 22,4 mg kg^{-1}, sendo considerado suficiente para sua progênie se desenvolver normalmente em solos com diversos graus de deficiência do elemento.

Os efeitos benéficos do Co às plantas incluem: o retardamento da senescência das folhas, aumento da resistência de sementes à seca, regulação dos teores de alcaloides em plantas medicinais e a inibição da biossíntese do etileno (PALIT; SHARMA; TALUKDER, 1994). Samimy (1978) observou o efeito de aplicações de Co no incremento do desenvolvimento do hipocótilo de plântulas de soja. Enquanto que Jayakumar e Jaleel (2009) observaram aumento nos teores de Co em plantas de soja em função da aplicação via solo deste elemento.

2.2.1 Estádio fenológico de aplicação visando a produção de sementes enriquecidas com Co e Mo

Na cultura da soja, o estádio fenológico R.5 é caracterizado pelo início da formação da semente, tratando-se de um período no qual as sementes iniciam um rápido e constante acúmulo de matéria seca e nutrientes, conforme apresentado na figura **1**. A partir do estádio R5.5, ocorre o máximo acúmulo de matéria seca e nutrientes nos ramos, folhas e pecíolos. A seguir, ocorre a translocação das reservas nutricionais dessas partes das plantas para as sementes em desenvolvimento (INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI, 2012; CÂMARA, 2006). Dados estes fatores, considerou-se o momento R5.4 o mais adequado para a aplicação dos elementos Co e Mo, visando o enriquecimento das sementes de soja com Co e Mo.

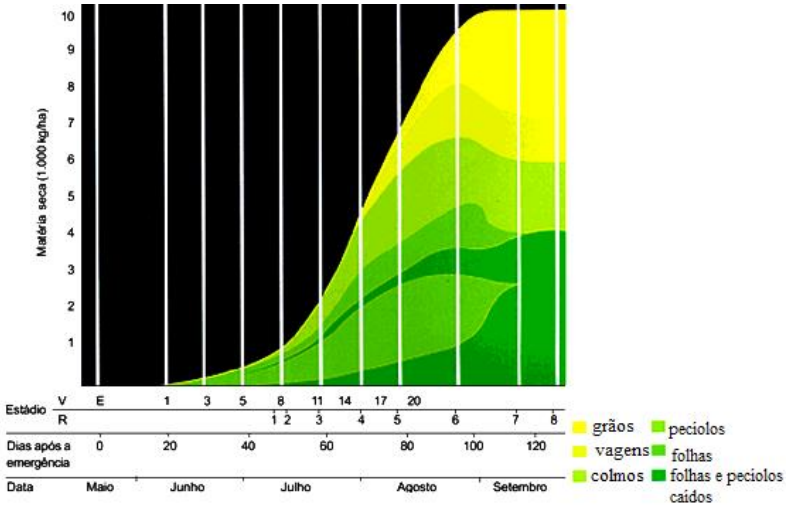

Figura 1 - Acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta (IPNI, 2012).

2.3 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA-

Segundo dados da Associação Brasileira de Sementes e Mudas, a demanda de sementes de soja na safra 13/14 foi de 1.806.612 toneladas, enquanto que a utilização de sementes foi de 1.156.232 toneladas, o que corresponde a uma taxa de utilização de sementes de 64% no período (ABRASEM, 2016).

A qualidade da semente de soja é influenciada pelas suas características fisiológicas (vigor e germinação), sua sanidade e por sua pureza física e varietal. Estes fatores respondem pelo desempenho das sementes no campo, aspecto fundamental que contribui para que sejam alcançados elevados níveis de produtividade (KRZYZANOWSKI et al., 2008). Graças ao aumento da renda do agricultor, há um aumento na procura por sementes de alta qualidade e com tecnologias agregadas, que garantam maior produtividade e segurança. Um dos principais fatores para o êxito da cultura da soja é a adoção de novas tecnologias, muitas destas veiculadas por meio das sementes (DA SILVA; SOUZA, 2014).

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes normalmente é verificada por meio da germinação e pela estimativa do vigor. A germinação é expressa pela capacidade das sementes gerarem plântulas normais em condições adequadas. O vigor, por sua vez, reflete um conjunto de características que são, em parte, responsáveis pela capacidade da plântula em resistir a estresses ambientais e a sua capacidade de se manter viável durante o armazenamento (KRZYZANOWSKI et al., 2008). Devido ao fato de o vigor não refletir uma única característica, é improvável que um só teste seja capaz de verificar o potencial das amostras, havendo a necessidade da realização de diversos testes para essa finalidade (SILVA; CICERO; GOMES-JUNIOR, 2012). Pesquisas têm mostrado que campos cultivados

com sementes de soja com alto vigor tendem a apresentar melhores índices de produtividade (KOLCHINSKI; SCHUCH; PESKE, 2005). Sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência, na uniformidade, na emergência total, no tamanho inicial e no estabelecimento de estandes adequados (SCHUCH; ASSIS; MAIA, 1999), fatores esses que podem influenciar a acumulação de matéria seca, e assim afetar o rendimento da cultura (KOLCHINSKI et al., 2005).

Dentre os testes disponíveis, o envelhecimento acelerado é um dos mais eficientes para avaliação do vigor de sementes de várias espécies, sendo desenvolvido com a finalidade de estimar o potencial de conservação de sementes, mas com eficiência para a comparação do vigor entre lotes (YAGUSHI, 2011).

O procedimento básico para a condução de vários testes de vigor está estabelecido e produz resultados confiáveis. No entanto, há uma evolução favorável no desenvolvimento de técnicas digitais para avaliar o potencial fisiológico de algumas espécies, o que inclui a utilização da análise computadorizada de imagens de plântulas (YAGUSHI, 2011).

Nesse sentido, pesquisadores da Universidade de Ohio (SAKO et al., 2001) elaboraram um sistema para identificar automaticamente o vigor de sementes, o *Seed Vigor Imaging System* (SVIS®). Tal método consiste na captação de imagens digitais múltiplas em escâner, de plântulas com três a quatro dias de idade, seguidas pelo processamento das imagens com o uso de um programa de computação especialmente desenvolvido para esse fim. O processamento das imagens gera valores numéricos que, coletivamente, representam o potencial fisiológico das sementes, com base em parâmetros pré-estabelecidos (MARCOS FILHO et al., 2005).

O SVIS® tem se destacado tanto pela rapidez quanto pela eficiência para a avaliação do potencial fisiológico de sementes de várias espécies. O teste estima o vigor de sementes por meio de parâmetros relacionados ao crescimento e à uniformidade das plântulas, calculados a partir do processamento de imagens digitais obtidas no teste de germinação (CALDEIRA, 2014).

2.4 COBALTO E MOLIBDÊNIO NO SOLO E NA PLANTA

2.4.1 Cobalto

O Co é considerado como elemento benéfico às plantas, pela maioria dos autores e citado como essencial por Malavolta (2006). O Co ativa diversas enzimas, dentre as quais, a

isomerase da metilmalonil CoA, a qual participa da biossíntese dos núcleos pirrólicos. Também faz parte da estrutura da coenzima cobalamina e da vitamina B12 e é responsável pela síntese da enzima leghemoglobina, que participa da atividade dos nódulos (FAQUIN, 2005).

Segundo Aubert e Pinta (1980), o Co é encontrado em todas as rochas da crosta terrestre e o teor varia com a origem das mesmas, o que pode influenciar diretamente o nível do elemento no solo. Os teores de Co no solo variam de 1 a 40 $mg.kg^{-1}$ e valores superiores podem ocorrer em solos originários de rochas ricas em minerais ferromagnesianos (CAMPO; HUNGRIA, 2002). Na litosfera, os teores de Co oscilam entre 10 e 40 $mg.kg^{-1}$ (GOLDSCHIMIDT, 1954, apud JACINTHO, 1975; HODGSON, 1963, apud JACINTHO, 1975; MASON, 1971, apud JACINTHO, 1975). Apenas uma fração do Co total - dependendo do material de origem, pH, teor de argila e outros fatores - é disponível para as plantas (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). O nível crítico para deficiências em leguminosas está na faixa de 0,02-0,3 $mg.kg^{-1}$. A disponibilidade é menor em pH baixo, havendo maior solubilização e lixiviação (MALAVOLTA, 1994).

O comportamento do Co no solo se assemelha ao de outros metais pesados e, como o Fe, manganês (Mn) e zinco (Zn), ele tem uma forte tendência a formar quelatos, além de influenciar na absorção e comportamento dos metais pesados. Por esse motivo, altas concentrações de Co resultam em sintomas similares aos de deficiência de Fe e Mn em plantas (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). Haja vista a importância na FBN, a deficiência do Co pode resultar na deficiência de N, causando clorose generalizada, seguida de necrose nas folhas mais velhas (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

A absorção do Co pela planta se dá por fluxo de massa, principalmente na forma de Co^{2+}, e a sua translocação na planta ocorre após formação de quelatos com ácidos orgânicos. Dessa forma, o Co é considerado pouco móvel com mobilidade média no floema (GEORGE; MARSCHNER; JAKOBSEN, 1995). Wiersma e Goor (1979) verificaram que a translocação do Co no floema de mamona (*Ricinus communis*) se deu em um complexo orgânico com carga negativa. Tiffin (1967) verificou que o Co é transportado, principalmente, como cátion Co^{2+} via xilema. Handreck e Riceman (1969) aplicaram Co marcado via pulverização foliar em trevos (*Trifolium Subterraneum*) e alfafa (*Medicago sativa*), verificando sua mobilidade moderada a partir das folhas.

2.4.2 Molibdênio

O molibdênio ocorre no solo como ânion de molibdato (MoO_4^{-2}), que é adsorvido por sesquióxidos e argilas. A concentração de Mo nos solos se apresenta, normalmente, entre 0,5 a 5,0 $mg.kg^{-1}$, ocorrendo nas seguintes fases: solúvel na solução do solo; adsorvido na fração coloidal; retido na rede cristalina dos minerais primários; e quelado à matéria orgânica (MELLO et al., 1983). A disponibilidade do Molibdato é maior em solos neutros do que em solos ácidos, devido ao fato de sua adsorção ser máxima em pH 4 (MENGEL; KIRKBY, 1987).

A adição direta de adubo contendo Mo ao solo é, muitas vezes, ineficaz, pois sua disponibilidade decresce em função de níveis de pH mais ácidos (pH<5,5), resultado de sua adsorção aos óxidos de Fe e Alumínio (Al) (KAISER et al., 2005).

O Mo é considerado elemento essencial às plantas, sendo um dos elementos minerais requeridos em menor quantidade. Suas principais funções referem-se à participação na atividade respiratória e à influência na viabilidade do grão de pólen, além de ser componente da enzima nitrogenase, a qual é diretamente atrelada à FBN (FAQUIN, 2005).

O Mo é absorvido principalmente como Molibdato, via fluxo de massa. Nessa forma, é transportado pelo xilema, sendo que a sua absorção pode ser reduzida por efeitos de competição com o sulfato (SO_4^{-2}) e, por outro lado, estimulada por íons fosfato (PO_4^{-3}) (MENGEL; KIRKBY, 1987; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). As plantas, normalmente, requerem Mo em quantidades muito baixas, com níveis críticos de deficiência, entre 0,1 e 0,5 $mg.kg^{-1}$ na matéria seca. Entretanto, com relação aos outros micronutrientes, as plantas podem tolerar altas concentrações de Mo, podendo chegar até 1000 $mg.kg^{-1}$ de matéria seca (GEORGE; MARSCHNER; JAKOBSEN, 1995).

2.5 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

A FBN é o segundo processo biológico de importância global, atrás apenas da fotossíntese, com aproximadamente 44 a 66 milhões de toneladas de N fixadas anualmente por leguminosas de importância agrícola, representando aproximadamente metade do N utilizado na agricultura (GRAHAM; VANCE, 2003). O processo da FBN consiste na conversão do N atmosférico em compostos nitrogenados (como amônio ou nitrato) pela ação de bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, especialmente importantes para a nutrição de plantas.

As bactérias fixadoras de N realizam uma interação complexa e específica com a planta, resultando no desenvolvimento de nódulos radiculares. Nódulos são novos órgãos que consistem, principalmente, de células infectadas com as bactérias que promovem a FBN. Dentro dos nódulos, as bactérias assumem uma forma endossimbiótica, onde a planta fornece exsudatos às bactérias, as quais fixam N, o qual é absorvido pela planta (SANTOS; REIS, 2008).

Um dos exemplos mais bem-sucedidos da aplicação biotecnológica da FBN ocorre na cultura da soja, especialmente no Brasil, em que o fornecimento de N é baseado nesse processo biológico (HUNGRIA et al., 2006).

O teor elevado de proteínas nos grãos da soja demanda elevada absorção de N pelas raízes, sendo consumidos 65 kg para a produção de 1000 kg de grãos, somando-se 15 kg para produção de folhas, caules e raízes, totalizando 80 kg de N. O cultivo da soja se torna viável economicamente graças à FBN, que pode suprir todo o N necessário à cultura (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos: um em campo, no Centro de Pesquisa Geraldo Schultz, localizado no município Iracemápolis/SP, e outro na casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado em Piracicaba/SP. As análises elementares foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas “Eurípedes Malavolta” e no Laboratório de Química Analítica, ambos localizados no CENA/USP. As análises de qualidade das sementes foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Sementes, localizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em Piracicaba/SP.

3.1 EXPERIMENTO CASA DE VEGETAÇÃO

3.1.1 Caracterização do Experimento

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação localizada no CENA/USP (Piracicaba/SP), nas coordenadas geográficas de 22 º 42 ' 30 " S e 47 º 38 ' 00 " W, a 524 m de altitude, no Estado de São Paulo.

O solo utilizado no experimento, classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 1999), foi coletado da camada de 0 – 20 cm, no município de Águas de São Pedro/SP. As amostras de terra foram secas ao ar e foram, posteriormente, passadas em peneira de malha 4 mm. As propriedades físicas (Tabela 1) e químicas, (Tabelas 2 e 3) foram determinadas de acordo com os métodos analíticos descritos, respectivamente, por Embrapa (1997) e Raij et al. (2001).

Tabela 1 - Análise física do solo - Casa de vegetação

Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
<0,002mm	**0,053-0,002mm**		**2,00-0,210mm**	**0,210-0,053mm**
		g/kg		
99	1	900	530	370

Tabela 2 - Análise química dos macronutrientes do solo - Casa de vegetação

pH CaCl2	M.O	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Soma bases	CTC	Sat. Bases	Sat.Al	SO_4
	g dm^{-3}	mg dm^{-3}-		----------mmol$_c$ dm^{-3} ----------						V%	m%	mg dm^{-3}
4,8	14	9	0,3	20	4	25	0	24	49	49	0	46

Tabela 3 - Análise química dos micronutrientes e Co no solo- Casa de vegetação

Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	Co
---------- DTPA ----------				(água quente)	USEPA	
---------- mg/dm³ ----------						
0,2	18	0,3	0,4	0,4	0,5	0,2

Foram utilizados vasos plásticos com volume de 3 dm^3, os quais foram revestidos com sacos plásticos e preenchidos com 3,2 kg de terra. À amostra de solo contida em cada vaso, foi adicionado corretivo, $CaCO_3$ + $MgCO_3$, na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, para elevar a saturação por bases a 60% e elevar o teor de magnésio (Mg) no solo para de 5 $mmol_c$ dm^{-3}. Para o cálculo da quantidade a ser aplicada, foram considerados os PRNTs (Poder Relativo de Neutralização Total) dos diferentes carbonatos, sendo utilizado $CaCO_3$ com PRNT de 100% e $MgCO_3$ com PRNT de 104,75%, havendo aplicação de uma dose equivalente a 0,5 t ha^{-1}. As amostras de solo e os corretivos foram homogeneizados (o corretivo foi mistura à amostra de solo) e incubados sem drenagem, sendo regados com água deionizada para manter a umidade solo à 100% da capacidade deretençaõ de água, durante 45 dias.

Para determinar a capacidade de retenção de água da amostra de solo, utilizou-se uma amostra seca de 500 g de terra utilizado no referido trabalho. A amostra foi saturada com 500 mL de água deionizada e deixada em local sombreado, para drenar livremente o excesso de água, durante um período de 24 horas. A umidade retida pela terra nessas condições correspondeu à capacidade de retenção de 100% (BRASIL, 1992).

Foram utilizadas duas cultivares de soja: a cultivar M6410IPRO, de ciclo médio (120 dias, aproximadamente, em condições de campo), pertencente ao grupo de maturação 6.4, com hábito de crescimento indeterminado; e a cultivar FTS1154RR, ainda não comercial, de ciclo superprecoce (95 dias em condições de campo), pertencente ao grupo de maturação 5.1, com hábito de crescimento indeterminado.

As sementes foram previamente inoculadas com 10 mL de inoculante líquido (*Bradyrhizobium japonicum*, estirpes SEMIA 5079 5080, com $6x10^9$ unidades formadoras de colônia por mL) por kg de sementes seguida pela aplicação de Co e Mo na dosagem de 3 $g.ha^{-1}$ e 15 $g.ha^{-1}$ respectivamente de forma a fornecer esses elementos para o ocorrência da FBN. A semeadura foi realizada manualmente no dia 10/02/2015, sendo distribuídas cinco sementes por vaso e, após 15 dias, o desbaste foi realizado, sendo mantidas duas plantas por vaso. Concomitantemente ao plantio, foi realizada a adubação de manutenção, seguindo método

preconizado por Malavolta (1980), com omissão de N (garantido pela inoculação), de modo que foram aplicadas as seguintes concentrações em $mg.kg^{-1}$ dos seguintes elementos: fósforo (P) 200; potássio (K) 150; cálcio (Ca) 75; Mg 15; enxofre (S) 50; boro (B) 0,5; cobre (Cu) 1,5; Fe 5; Zn 5. O solo dos vasos foi umedecido com água deionizada, para manter a umidade a aproximadamente 80% da capacidade de campo durante todo o experimento.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas via folha e via solo (Tabela 4), no momento em que as plantas atingiram o estádio de desenvolvimento R5.4. Vale ressaltar que houve um erro experimental durante a aplicação via solo na variedade M6410IPRO. Por esta razão, os resultados referentes a esta forma de aplicação, nesta variedade, foram desconsiderados.

Tabela 4 - Tratamentos aplicados no experimento 1, contendo Co e Mo, com as respectivas doses e formas de aplicação nas diferentes variedades

Tratamentos	Variedade	Dose g ha^{-1} de Co	Dose g ha^{-1} de Mo	Aplicação
1	M*	0	0	Sem aplicação
2	M	0	800	Via folha
3	M	10	800	Via folha
4	M	20	800	Via folha
5	M	30	800	Via folha
10	F**	0	0	Sem aplicação
11	F	0	800	Via folha
12	F	10	800	Via folha
13	F	20	800	Via folha
14	F	30	800	Via folha
15	F	0	800	Via solo
16	F	10	800	Via solo
17	F	20	800	Via solo
18	F	30	800	Via solo

*M= M6410IPRO ** F= FTS1154RR.

As fontes de Co e Mo foram quelato de cobalto (13,7% de Co) e molibdato de sódio (39% de Mo), respectivamente. Foram aplicadas quatro doses de Co (0, 10, 20 e 30 g ha^{-1}), conjuntamente com 800 g ha^{-1} de Mo, através de duas vias de aplicação (via solo e via folha), com um controle sem Co e Mo por variedade.

À solução utilizada para a aplicação foliar foi adicionado 5% de óleo mineral. A aplicação da solução foliar foi realizada utilizando um pincel achatado de 4 cm, um béquer e uma balança de precisão. O conjunto béquer+pincel+solução foi pesado inicialmente e após a aplicação na planta. Em seguida, o conjunto foi novamente pesado, de forma a obter a quantidade exata de solução aplicada e, consequentemente, a quantidade dos elementos Co e Mo aplicados por planta. Além disso, a técnica utilizada evitou o escorrimento da solução

para o solo. A aplicação do Co e Mo via solo foi realizada através da diluição dos elementos em água deionizada e subsequente aplicação direta ao solo.

No momento em que as plantas se encontravam no estádio R.6 (pleno enchimento das vagens), foram avaliados os teores de clorofila e flavonóides contidos nas folhas, utilizando-se um equipamento para medição não destrutiva destes compostos (DUALEX, DX4). Foram analisados os trifólios centrais da terceira folha das duas plantas contidas nos vasos.

A colheita foi realizada no momento em que cada uma das variedades atingiu o estádio de desenvolvimento R.7. As plantas foram seccionadas à altura da superfície do solo. As raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente. A raiz e a parte aérea foram lavadas com água deionizada e a secagem foi realizada em estufa de circulação forçada de ar, a 60ºC, até que o material atingisse peso constante. As amostras foram separadas em raiz, parte aérea e sementes, para posteriormente serem moídas em moinho tipo Willey.

3.1.1.1 **Teores** de **Co e Mo no solo**

Inicialmente foi realizada amostragem do solo, a fim de avaliar a fertilidade, de acordo com metodologia descrita em Raij et al. (2001), determinando a necessidade de calagem e de adubação.

Amostras de solo de todas as unidades amostrais foram coletadas logo após a colheita. A partir destas amostras, foram analisados os teores semitotais de Co e Mo obtidos por meio de digestão ácida (HNO_3 + H_2O_2 + HCl) (USEPA, 1996).

Utilizou-se 0,5 g da amostra que foi digerida em 5 mL de ácido nítrico (HNO_3), diluído na proporção 1:1, em tubos de digestão dispostos num bloco digestor por 10 minutos, a 95 ± 5°C. As amostras foram resfriadas por 10 minutos e, então, foram adicionados 5 mL de HNO_3 concentrado. Os tubos foram novamente conduzidos ao bloco digestor para aquecimento a 95 ± 5°C, por mais 2 horas. Após este período, as amostras foram resfriadas por 20 minutos e, então, foram adicionados 1 mL de água Milli-Q e 2 mL de H_2O_2 a 30%. Ao fim da efervescência, foi adicionado mais 3 mL de H_2O_2 e, posteriormente, os tubos foram levados ao bloco digestor por mais 2 horas, a 95 ± 5°C. Por fim, as amostras foram resfriadas e receberam 5 mL de HCl concentrado, sendo aquecidas por 15 minutos a 95 ± 5°C. As alíquotas foram resfriadas, filtradas e transferidas para tubos falcons, adicionando-se água Milli-Q até completar 50 mL.

A partir dos extratos obtidos, foram determinados os macro e micronutrientes, com exceção do N e do Co, utilizando o espectrômetro óptico de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), conforme metodologia do Laboratório de Análise e Referência em Amostras Ambientais e Fertilizantes (LARAFERT, CENA/USP).

3.1.1.2 Teores de macro e micronutrientes e Co na raiz, na parte aérea e nas sementes

Foi realizada o maceramento e a digestão da parte aérea, raiz e sementes separadamente. As amostras foram digeridas com a mistura de ácido nítrico 65% e ácido perclórico 70% na proporção 3:1, em sistema bloco digestor, com capacidade para 40 amostras. Procedeu-se a transferência de 0,5 g de material vegetal seco e moído para o tubo digestor, seguido pela adição de 7 mL da mistura de ácido nítrico-perclórico, que foi adicionada na noite anterior à digestão. A amostra permaneceu em repouso por 12 horas, visando uma pré-digestão. Em seguida, iniciou-se a digestão no bloco com a elevação gradual da temperatura até 180ºC. A amostra foi digerida até restar cerca de 1 mL de ácido. Depois, os extratos foram retirados do bloco, resfriados até a temperatura ambiente e transferidos para frascos tipo Falcon, completando-se o volume a 25 mL com água Milli-Q.

A partir dos extratos obtidos, foram determinadas as concentrações dos macros e micronutrientes e Co, com exceção do N, por ICP-OES. O N foi determinado pelo método Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.1.1.3 Medição dos índices de clorofila e flavonoides nas folhas

No momento em que as plantas atingiram o estádio R.6, avaliou-se os índices de clorofila (IC), de flavonoides (IF) e de balanço de nitrogênio (NBI) nas folhas, utilizando um equipamento para medição não destrutiva destes compostos (DUALEX, DX4).

3.1.1.4 Componentes da produção

Para a avaliação da matéria seca da parte aérea, as plantas foram seccionadas na altura da superfície do solo, sendo separadas do solo a partir da lavagem em água corrente. Em seguida, a parte aérea e as sementes foram secas em estufa a +60°C, até atingir peso constante. A altura da planta foi obtida medindo-se a distância entre o colo da planta e o ápice da haste principal. Para a obtenção da altura de inserção da primeira vagem, foi medida a

distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem. Determinou-se o número de vagens por planta, destacando-se e contando todas as vagens que apresentavam sementes.

3.1.2 Análise estatística

O delineamento foi de blocos casualizados com três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando o teste F foi significativo a 1% e 5% de probabilidade, procedeu-se a análise de regressão. O experimento foi inicialmente proposto em esquema fatorial (4x2x2+2), sendo utilizados os seguintes fatores: quatro doses de Co (0, 10, 20 e 30 g ha^{-1}) conjuntamente com 800 g ha^{-1} de Mo; duas variedades de soja; duas vias de aplicação (via solo e via folha); e um controle sem Co e Mo por variedade. No entanto, em função dos tratamentos perdidos, a análise dos dados foi dividida em dois fatoriais duplos (4x2+1 e 4x2+2), mantendo-se o fator doses em ambas as análises e variando o segundo fator, forma de aplicação, na primeira análise e variedade na segunda análise. Desta maneira, o fator variedade teve a comparação unicamente para a forma de aplicação via foliar. Todas as demais interações foram realizadas.

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Quando constatada interação entre as variáveis, procedeu-se o desdobramento, analisando o efeito das doses de Co através da análise de regressão polinomial, por meio de modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F. Por fim, procedeu-se a análise entre o tratamento adicional comparado com o fatorial. Para execução da análise estatística foi utilizado o programa R (R, 2016).

3.2 EXPERIMENTO CAMPO

3.2.1 Caracterização do experimento

O ensaio foi conduzido em condições de campo no Centro de Pesquisa Geraldo Schultz, da empresa Produquímica, no Município de Iracemápolis, nas coordenadas geográficas 22° 38' 46.2" S e 47° 30' 11.0" W, a 530 m de altitude, no Estado de São Paulo.

A unidade principal de solo é o Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa. Foi realizada amostragem do solo (0-20 cm) da área experimental para caracterização física (Embrapa, 1997) e química (Raij et al., 2001), antes do plantio (Tabelas 5, 6 e 7). O material

genético utilizado foi composto por sementes de soja da cultivar M6410IPRO. Foi realizada a inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*, aplicando-se 420 mL de inoculante líquido ($6x10^9$ unidades formadoras de colônia por mL) por ha. A semeadura foi realizada no dia 01/12/2014, sendo utilizada uma semeadora adubadora tratorizada, com seis linhas espaçadas em 0,50 m. A população final de plantas foi de 350.000 plantas por ha. As sementes foram previamente inoculadas com 10 mL de inoculante líquido (*Bradyrhizobium japonicum*, estirpes SEMIA 5079 5080, com $6x10^9$ unidades formadoras de colônia por mL) por kg de sementes seguida pela aplicação de Co e Mo na dosagem de 3 $g.ha^{-1}$ e 15 $g.ha^{-1}$ respectivamente de forma a fornecer esses elementos para o ocorrência da FBN. Às sementes foi aplicado fungicida e inseticida na dosagem de 0,1 L ha^{-1} p.c., produto comercial (concentração de ingrediente ativo ,i.a., no p.c. 25 g L^{-1} de piraclostrobina, 225 g L^{-1} de tiofanato metílico, 225 g L^{-1} de fipronil, 250 g L^{-1}). A adubação de base consistiu na aplicação de 200 kg ha^{-1} da fórmula NPK 9-48-00, seguida por adubação pré-plantio de 200 kg ha^{-1} de KCl. Os tratos culturais aplicados ao experimento consistiram em duas aplicações de glifosato e quatro aplicações de fungicidas + inseticidas.

Tabela 5 - Análise física do solo, bloco experimental - Ensaio em campo

Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
<0,002mm	**0,053-0,002mm**		**2,00-0,210mm**	**0,210-0,053mm**
		g/kg		
56	13	31	8	23

Tabela 6 - Análise química de macronutrientes - Ensaio em campo

pH CaCl2	M.O	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Soma bases	CTC	Sat. Bases	Sat.Al	SO_4
	g dm^{-3}	**mg dm^{-3}**	**mmol$_c$ dm^{-3}**							**V%**	**m%**	**mg dm^{-3}**
5,3	26	21	2,8	66	25	34	1	93,8	127,3	73	1	42

Tabela 7 - Análise química dos micronutrientes e Co no solo- Ensaio em campo

Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	Co
	DTPA			**(água quente)**	**USEPA**	
		mg/dm³				
0,3	2,7	33	5	2,3	0,8	3,1

As fontes de Co e Mo foram, respectivamente, quelato de cobalto (13,7% de Co) e molibdato de sódio (39% de Mo). A aplicação foi realizada no estádio fenológico R5.4, a cultura apresentava o dossel fechado, o que diminuiu o escorrimento da solução para o solo. Foram aplicadas quatro doses de Co (0, 10, 20, 30 g ha^{-1}) com 800 g ha^{-1} de Mo, havendo um controle sem Co e Mo. A descrição dos tratamentos encontra-se na Tabela 8. As parcelas foram constituídas por seis fileiras com 6,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,5 m, apresentando área de 18 m^2. Apenas as duas linhas centrais foram avaliadas, deixando quatro linhas de bordadura por parcela.

Tabela 8 - Descrição do tratamento aplicado no experimento de campo

Tratamentos	Genótipo	Dose g ha^{-1} de Co	Dose g ha^{-1} de Mo	Aplicação
1. Controle	M*	0	0	Sem aplicação
2	M	0	800	Via folha
3	M	10	800	Via folha
4	M	20	800	Via folha
5	M	30	800	Via folha

*M= M6410IPRO

No momento em que as plantas se encontravam no estádio R.6 (pleno enchimento das vagens), foram avaliados os teores de clorofila e flavonóides contidos nas folhas, utilizando-se um equipamento para medição não destrutiva destes compostos (DUALEX, DX4). Foram analisados os trifólios centrais da terceira folha de três plantas por parcela. Em todas as análises, as duas linhas centrais foram as únicas avaliadas, deixando quatro linhas de bordadura por parcela. No mesmo dia, foi realizada a amostragem de folhas, coletando-se a terceira folha a partir do ápice das plantas, sendo coletadas 30 folhas por parcela.

As amostras de folhas, após a coleta, foram lavadas e enxaguadas em água destilada para retirada da sujeira presente na superfície do limbo, sendo, posteriormente, secas em estufa de circulação forçada de ar e moídas em moinho do tipo Wiley, para posterior análise química e determinação dos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B, Zn, Fe, Mn, Mo e Co.

A colheita foi realizada aos 127 DAP (Dias Após o Plantio). Duas linhas centrais de cada parcela foram colhidas manualmente, desprezando-se meio metro de cada extremidade. As plantas foram cortadas rente ao solo e colocadas em sacos para que, em seguida, fossem encaminhadas a uma trilhadeira de grãos estacionária. A coleta do solo foi realizada em dois momentos: Pré-plantio, sendo realizada a análise físico-química (Tabelas 5, 6 e 7); e no

momento da colheita. Num segundo momento, a coleta do solo foi realizada em zig zag, utilizando uma sonda e coletando seis amostras simples por parcela.

Os grãos foram armazenados e conduzidos ao Laboratório de Tecnologia de Sementes (ESALQ/USP), onde foi verificada a produtividade por parcela, considerando-se uma área útil colhida de 5 m^2. Com o peso das amostras de cada tratamento, obtido logo após a colheita, e com o grau de umidade dos grãos no momento da pesagem, foi realizada a correção de todas as amostras para 13% de grau de umidade, sendo os resultados transformados para kg ha^{-1}. Os grãos foram secos até atingirem a umidade entre 11% e 13%, sendo, em seguida, armazenados em câmera fria e seca. O beneficiamento manual dos grãos foi realizado de forma a retirar impurezas, grãos ardidos, enrugados, danificados e contaminados por infecção primária.

As análises de qualidade fisiológica das sementes foram realizadas através dos testes de germinação e testes de vigor, envelhecimento acelerado (EA) e análise computadorizada de imagens de plântulas (SVIS®).

3.2.1.1 Teores de Co e Mo no solo

Inicialmente, foi realizada a amostragem do solo, a fim de avaliar a fertilidade, de acordo com metodologia descrita em Raij et al. (2001), e determinar a necessidade de calagem e de adubação, de forma a suprir as necessidades nutricionais das plantas.

No momento da colheita, foram coletadas amostras de solo de todas as parcelas, amostrando-se 6 subamostras por caminhamento em zigzag na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneiras com abertura de malha de 1,25 mm e analisadas quanto aos teores totais de Co e Mo, obtidos por meio de digestão ácida (HNO_3 + H_2O_2 + HCl) (USEPA, 1996).

Procedeu-se o mesmo processo de digestão e análise descrito no item 3.1.1.1.

3.2.1.2 Teores de Co e Mo na nas folhas e nas sementes

Procedeu-se o mesmo processo de digestão e análise descrito no item 3.1.1.2.

3.2.1.3 Medição dos Índices de clorofila e flavonóides nas folhas

No momento em que as plantas atingiram o estádio R.6, foi realizado o mesmo procedimento conduzido no item 3.1.1.3.

3.2.1.4 Grau de umidade

O grau de umidade das amostras foi determinado antes da instalação dos diferentes testes, pelo método da estufa, a 105 ºC ± 3 ºC, durante 24 horas (BRASIL, 1992), em duas subamostras. Essa determinação também foi realizada após a retirada das sementes da câmara de envelhecimento acelerado.

3.2.1.5 Germinação

Para avaliar a germinação das sementes, utilizou-se papel germitest umedecido com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes à massa do papel seco. Conduziu-se quatro repetições de 50 sementes para cada parcela. Foram dispostas 50 sementes em cada rolo de papel germitest, com espaçamento uniforme e suficiente para minimizar a competição e contaminação. Posteriormente, as sementes foram levadas para um germinador, regulado para manter a temperatura constante a 25ºC± 1ºC. As avaliações foram realizadas aos quatro e sete dias após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). O resultado da germinação foi expresso em porcentagem de plântulas normais.

3.2.1.6 Envelhecimento Acelerado

O Envelhecimento Acelerado foi conduzido conforme metodologia descrita por Marcos Filho (1999), acondicionando-se uma amostra de sementes para cada lote. A amostra foi distribuída em camada única sobre uma tela de aço inox e colocada no interior de caixas plásticas do tipo "gerbox", contendo 40 mL de água destilada, com distância entre o nível de água e as sementes de aproximadamente 2 cm. Em seguida, as caixas foram fechadas e levadas a uma câmara de germinação do tipo DBO, regulada a temperatura de 42 ºC ± 1ºC, por 48 horas. Após o período de envelhecimento, 200 sementes foram escolhidas aleatoriamente, divididas em quatro subamostras de 50 sementes, sendo submetidas ao teste de germinação, conforme descrito no item anterior. A avaliação foi realizada no quarto dia, após a transferência para o germinador.

3.2.1.7 Análise computadorizada de plântulas com o software SVIS®

Para a obtenção das plântulas, cinco repetições de 20 sementes foram colocadas para germinar em duas fileiras posicionadas no terço superior da superfície do papel germitest, a 25º C, durante três dias (HOFFMASTER et al., 2003; YAGUSHI, 2011). Em seguida, as imagens foram captadas em scanner HP Scanjet 2004, montado de maneira invertida no interior de uma caixa de alumínio com 60 cm x 50 cm x 12 cm e operado por software Photosmart, com resolução de 100 dpi. Após o período de germinação, o material contido nos rolos foi transferido para uma folha de cartolina de coloração negra. As imagens escaneadas foram analisadas pelo software Seed Vigor Imaging System (SVIS®).

Nessa análise, o eixo raiz/hipocótilo de cada plântula foi marcado em vermelho pelo programa. Para a maioria das plântulas, o eixo foi identificado corretamente, no entanto, em algumas amostras, houve necessidade de efetuar correções manuais dos erros (com auxílio do "mouse").

Após a análise e avaliação de cada plântula, o programa gerou automaticamente valores numéricos referentes ao índice de vigor (IV) e ao índice de uniformidade (IU) de desenvolvimento de plântulas. Os dados foram obtidos considerando 12,7 cm (5 polegadas) como o tamanho máximo de plântulas a ser alcançado no período de três dias. Para composição do índice de vigor foi utilizada a seguinte combinação: IV 70/30 = {(0,7 x IC) + (0,3 x IU)} (YAGUSHI, 2011). O valor do índice de vigor é resultante da combinação de índices de crescimento e de uniformidade, que podem variar de um valor mínimo de zero a um valor máximo de 1000.

O grau de umidade dos tratamentos foi previamente analisado, senda verificada homogeneidade da umidade entre as amostras.

3.2.1.8 Produtividade

Com o peso das amostras de cada tratamento, obtido logo após a colheita, e com o grau de umidade das sementes no momento da pesagem, foi realizada a correção de todas as amostras para 13% de grau de umidade. Os resultados foram transformados para kg ha^{-1}, considerando-se a colheita de $6m^2$ por parcela.

3.2.2 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado constituiu-se de blocos ao acaso com seis repetições, variando quatro doses de Co (0,10,20,30 g ha^{-1}) conjuntamente com 800 g ha^{-1} de Mo, e um controle sem Co e Mo, totalizando cinco tratamentos e 30 parcelas.

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Quando constatada interação entre as variáveis, procedeu-se a análise do efeito das doses de Co utilizando a análise de regressão polinomial, por meio de modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F e por comparação de médias pelo Teste de Tukey. Para execução da análise estatística, foi utilizado o programa R (R, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO CASA DE VEGETAÇÃO

4.1.1 Formas de aplicação

4.1.1.1 Teores de Co e Mo nas sementes

Conforme pode ser observado na Tabela 9, para o teor de Co nas sementes, verificou-se que houve interação entre os fatores doses, forma de aplicação e controle (sem aplicação de Co e Mo). Dessa forma, procedeu-se o desdobramento de um fator dentro do outro. Para o fator doses, conclui-se que existem pelo menos dois níveis que diferem entre si. Para o fator via de aplicação, conclui-se que a média do teor de Co nas sementes com aplicação foliar foi maior que a média do teor de Co nas sementes com aplicação via solo. Com relação ao controle, conclui-se que a média dos teores de Co no controle é menor do que as médias dos teores de Co nos demais tratamentos. Como o efeito de dose foi significativo dentro dos dois níveis, procedeu-se o desdobramento desses dois fatores. O maior teor observado foi 2,02 $mg.kg^{-1}$, presente na dose de 30g ha^{-1} da aplicação foliar. Por outro lado, o menor teor observado estava abaixo do nível de detecção do aparelho.

Há necessidade de mais pesquisas para afirmar se estes teores são suficientes para suprir a planta na realização da FBN. No entanto, já foi verificado que 0,2 mg kg^{-1} de Co em sementes de tremoço foram suficientes para o desenvolvimento da planta em solos deficientes em Co e N, e 0,1 mg kg^{-1} foram suficientes para o desenvolvimento da planta em solos deficientes apenas em Co (GLADSTONES; LONERAGAN; GOODCHILD, 1977). Em pesquisa realizada por Robson e Snowball (1987), verificou-se que plantas de Tremoço responderam à aplicação de Co quando os teores nas sementes eram inferiores a 0,03 mg kg^{-1}, e que plantas com teores de Co nas sementes acima de 0,73 mg kg^{-1} não apresentaram nenhum tipo de resposta à aplicação de Co.

Tabela 9 - Teores de Co e Mo nas sementes de soja em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar e via solo

Doses (D) g ha⁻¹		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	----------mg kg⁻¹----------	
		----- Aplicação folhar (VF) -----	
0	800	0,04	77
10	800	0,79	132
20	800	1,48	132
30	800	2,02	98
	Média	1,1	110
		---- Aplicação via solo (VS) ----	
0	800	0,07	232
10	800	0,10	172
20	800	0,22	237
30	800	0,42	292
	Média	0,20	233
		---------- Controle (C) ----------	
0	0	> 0,002 c	48
----------Teste F----------			
D		105,1**	$1,5^{ns}$
VF x VS		322,5**	49,3*
C x Fatorial		75,4**	13,5*
VF: D		152,8**	-
VS: D		5,2**	-
D0 : VF x VS		$3,2^{ns}$	-
D10 : VF x VS		49,6**	-
D20 : VF x VS		165,3**	-
D30 : VF x VS		265,8**	-

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

Para o desdobramento das doses dentro das formas de aplicação, houve diferença significativa nas doses de Co de 10, 20 e 30 g ha^{-1} (respectivamente D10, D20 e D30 na Tabela 9), constatando-se que o fator forma foi significativo em todos os níveis de doses, com exceção da dose 0 g ha^{-1} (D0). Concluindo-se que as médias das aplicações via solo (exceto na D0) diferem daquelas com aplicação foi via foliar.

Como o fator doses é quantitativo, faz-se o uso da análise de regressão para ajuste de modelo linear que explique os dados. Para o fator doses desdobrado dentro dos níveis de aplicação foliar e aplicação via solo, fez-se o teste de ajuste de modelos de regressão. A Figura 2 apresenta as equações estimadas mais adequadas dentro de cada nível de aplicação.

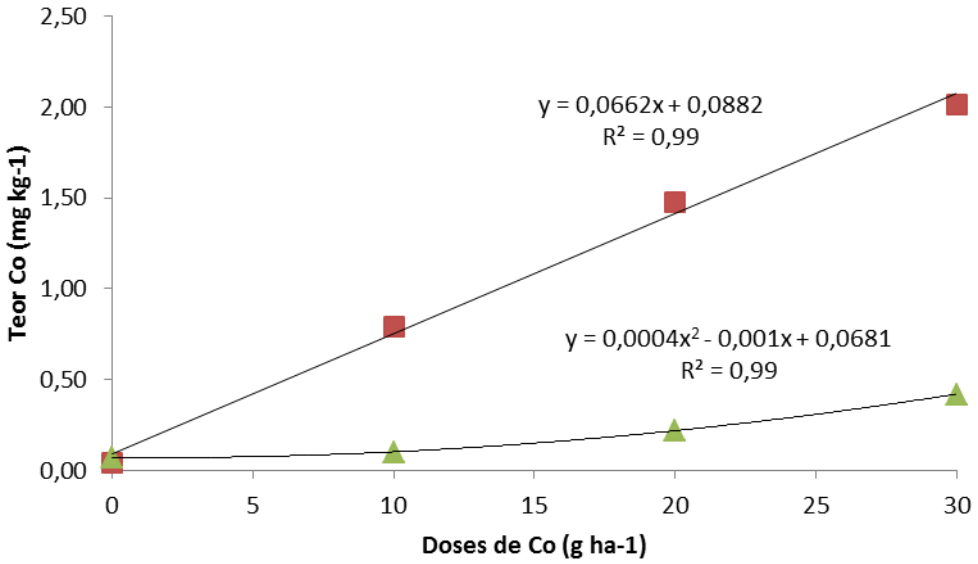

Figura 2 - Teor de Co nas sementes em função de doses de Co aplicado via foliar (■) ou via solo (▲)**.**

Com relação aos teores de Mo (Tabela 9) nas sementes, verifica-se que houve diferença significativa entre as médias dos teores de Mo, com diferentes formas de aplicação. Verificou-se, também, o teor de Mo nas sementes do controle (sem aplicação de Co e Mo), o qual apresentou diferença significativa quando comparado às médias do teor de Mo nas sementes dos tratamentos com aplicação via foliar (VF) e via solo (VS). Os teores médios de Mo nas sementes variaram entre 77 a 292 mg kg^{-1}. Segundo Harris et al. (1965 apud FONSECA, 2006) este teor está acima do suficiente (22,4 mg kg^{-1}) para que a planta complete seu ciclo sem necessidade de aplicações adicionais desse elemento, mesmo em solos com deficiência em Mo.

Conforme citado por Broch (2005) 80% do Mo é exportado pelos grãos, sendo assim, necessário à sua reposição, seja pela aplicação na semente, com possível efeito negativo na sobrevivência do *Bradyrhizobium*, via foliar nos estádios iniciais da cultura ou o com a utilização de sementes enriquecidas. Campo e Hungria (2002), em suas pesquisas observaram que os efeitos da aplicação de Co, nos rendimentos da soja, são ainda mais expressivos com quando utilizadas sementes enriquecidas em Mo.

4.1.1.2 Teores de Co e Mo na parte aérea

Conforme pode ser observado na Tabela 10, o teor de Co na parte aérea apresentou interações entre os fatores doses, forma de aplicação e controle. Dessa forma, procedeu-se o desdobramento de um fator dentro do outro. Para o fator doses, conclui-se que existem, pelo menos, dois níveis que diferem entre si. Para o fator via de aplicação, conclui-se que a média do teor de Co na parte aérea das plantas com aplicação foliar é maior que a média do teor de Co na parte aérea com aplicação via solo. Com relação ao controle, conclui-se que a média dos teores de Co na parte aérea do controle é significativamente inferior às médias dos teores de Co nos demais tratamentos. Como o efeito de dose foi significativo dentro dos dois níveis, procedeu-se o desdobramento desses dois fatores.

Tabela 10 - Teor de Co e Mo na parte aérea em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar ou via solo

Doses (D) g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	----------mg kg^{-1}----------	
		----- Aplicação foliar (VF) -----	
0	800	0,5	1116
10	800	20,7	1209
20	800	23,7	821
30	800	47,2	1179
	Média	23,0	1081
		----- Aplicação via solo (VS) ----	
0	800	0,5	194
10	800	1,5	250
20	800	1,2	287
30	800	0,9	283
	Média	10,7	253
		---------- Controle (C) ----------	
0	0	0,4	11
		Teste F	
D		7,4**	0,5^{ns}
VF x VS		38,7**	51,5**
C x Fatorial		5,12*	14,4*
VF: D		14,2*	-
VS: D		0,01^{ns}	-
D0 : VF x VS		0^{ns}	-
D10 : VF x VS		7,4*	-
D20 : VF x VS		10,2**	-
D30 : VF x VS		42,7**	-

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

Para o desdobramento dos tratamentos dentro das doses, não foi verificada diferença significativa, porém, para a aplicação foliar houve diferença. Verificou-se a significância das doses dentro das vias de aplicação, constatando-se que o fator via de aplicação foi significativo em todos os níveis de doses, com exceção da dose D0. É possível concluir, portanto, que as médias das aplicações via solo diferem estatisticamente, pelo teste F, daquelas cujas aplicações foram via foliar, com exceção da D0.

Como o fator doses é quantitativo, faz-se o uso da análise de regressão para ajuste de modelo linear que explique os dados. Para o fator doses desdobrado dentro do nível de aplicação foliar, fez-se o teste de ajuste de modelos de regressão. Na Figura 3, pode-se observar a equação estimada mais adequada dentro do nível de aplicação foliar.

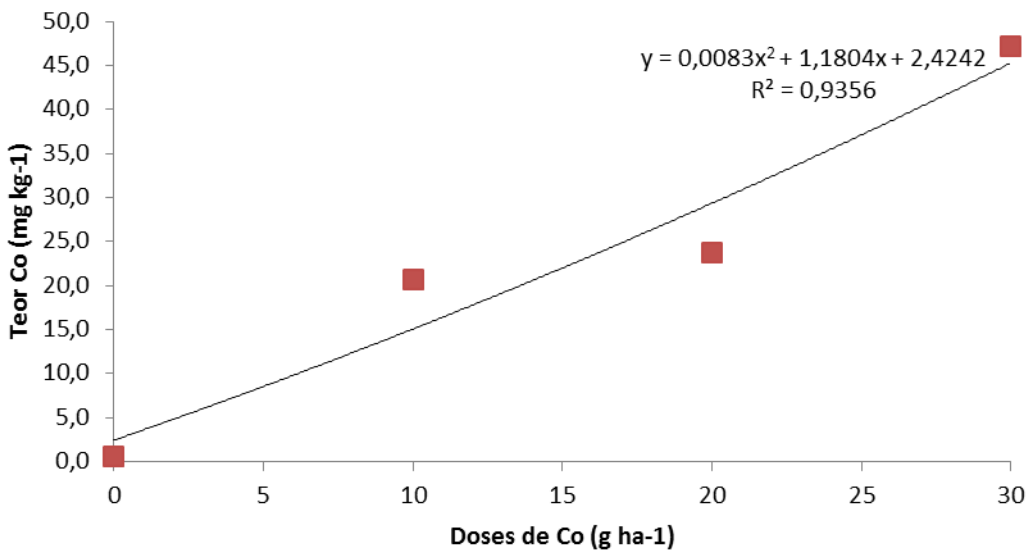

Figura 3 - Teores de Co nas folhas em função de doses de Co aplicadas via foliar (■).

Com relação aos teores de Mo (Tabela 10) nas folhas, verificou-se que houve diferença significativa entre as médias dos teores de Mo na parte aérea, com diferentes formas de aplicação. Observou-se, também, que a média do teor de Mo na parte aérea do controle (sem aplicação de Co e Mo) apresentou diferença significativa quando comparada às médias do teor de Mo nas sementes dos tratamentos com aplicação VF e VS. Pode-se concluir, portanto, que a média do teor de Mo nas plantas com aplicação foliar é significativamente maior do que a média do teor de Mo nas plantas com aplicação via solo. Conclui-se também, que a média do tratamento controle é estatisticamente inferior às duas formas de aplicação citadas anteriormente.

4.1.1.3 Teores de Co e Mo no solo

Conforme pode ser observado na Tabela 11, o teor de Co no solo apresentou interação apenas para o fator forma de aplicação dentro do fator dose. Conclui-se, portanto, que para o fator via de aplicação, a média do teor de Co no solo com aplicação foliar é significativamente menor que a média do teor de Co no solo com aplicação via solo.

Tabela 11 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo aplicados via foliar e via solo

Doses (D) g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	--------mg dm^{-3}----------	
		----- Aplicação folhar (VF) -----	
0	800	0,20	0,82
10	800	0,19	0,70
20	800	0,18	0,90
30	800	0,21	0,70
	Média	0,20	0,8
		----- Aplicação via solo (VS) ----	
0	800	0,25	3,59
10	800	0,27	3,84
20	800	0,25	4,04
30	800	0,22	3,25
	Média	0,25	3,7
		---------- Controle (C) ----------	
0	0	0,19	0,52
		Teste F	
D		0,1^{ns}	1,9^{ns}
VF x VS		5,8*	385,6**
C x Fatorial		0,2 ^{ns}	59,9**

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

Para o teor de Mo no solo, verifica-se, na Tabela 11, que houve interações significativas entre os fatores forma de aplicação e controle e pode-se concluir que a média do teor de Mo no solo, com aplicação VF, é inferior à média do teor de Mo no solo, com aplicação VS. Além disso, a média do teor de Mo no tratamento controle foi de 0,19 mg dm^{-3}, sendo inferior às médias de ambas as formas de aplicação.

As interações tanto no teor de Co como no de Mo no solo estão dentro do esperado, haja vista as formas de aplicação.

4.1.1.4 Componentes da produção e IC, IF e NBI

Na Tabela 12 verifica-se que não houve interação positiva para as variáveis altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa seca da parte aérea, massa seca das sementes, IC, IF e NBI. Desta forma, não se procedeu ao desdobramento. O resultado está dentro do esperado, haja vista que a aplicação dos tratamentos foi realizada num período adiantado do ciclo da cultura, visando o enriquecimento das sementes. Pode-se observar que os fatores de produção, assim como o IC, IF e NBI não foram influenciados, significativamente, pelas doses de Co e Mo. Foi verificada interação positiva entre o Controle x Fatorial para a massa seca da parte aérea, o tratamento controle apresentou média levemente superior ao dos demais tratamentos.

Tabela 12 - Componentes da produção e IC, IF e NBI, em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo

Doses (D) g ha⁻¹		Primeira inserção	Altura da planta	Número de vagens	Massa seca parte aérea	Massa seca sementes	Índice de clorofila	Índice de flavonóides	NBI
Co	Mo	----------cm---------			----------g----------		----------Dualex----------		
		----------Aplicação foliar (VF)----------							
0	800	18	139	16	4,7	5,6	26,6	0,6	46,2
10	800	21	143	14	4,6	5,4	28,2	0,6	47,4
20	800	16	150	13	4,4	4,8	23,8	0,7	36,3
30	800	22	139	19	6,0	6,0	27,6	0,6	44,5
	Média	19	143	15	4,9	5,4	26,5	0,6	43,6
		----------Aplicação via solo (VS)----------							
0	800	22	135	17	5,3	5,9	30,0	0,6	61,7
10	800	20	126	16	5,4	4,8	34,1	0,6	60,9
20	800	19	133	15	5,5	5,5	26,3	0,6	45,6
30	800	21	146	12	4,8	4,3	28,0	0,6	49,2
	Média	20	135	15	5,3	5,1	29,6	0,6	54,3
		----------Controle (C)----------							
0	0	20	149	13	6,5	5,7	23,9	0,6	43,2
----------Teste F----------									
D		$1,4^{ns}$	$0,1^{ns}$	$0,4^{ns}$	$0,4^{ns}$	$0,2^{ns}$	$0,9^{ns}$	$1,4^{ns}$	$1,1^{ns}$
VF x VS		$0,4^{ns}$	$0,5^{ns}$	$0,1^{ns}$	$0,9^{ns}$	$0,3^{ns}$	$0,2^{ns}$	$3,3^{ns}$	$1,2^{ns}$
C x Fatorial		$0,0^{ns}$	$0,4^{ns}$	$1,8^{ns}$	8,6**	$0,1^{ns}$	$0,1^{ns}$	$0,4^{ns}$	$0,2^{ns}$

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

4.1.1.5 Teores de macro e micronutrientes nas sementes de soja

Verificou-se que os teores de macro e micronutrientes nas sementes de soja, apresentados na Tabela 13, não apresentaram interação significativa com a variação das doses de Co e Mo. Os teores dos elementos estão similares aos apresentados por Magalhães (2016), quando comparou os teores de macro e micronutrientes entre três cultivares de soja. Não houve variações nos teores de N nas sementes, resultados similares foram observados por Marcondes et al. (2005) e Souza et al. (2009).

Tabela 13 - Teores de macro e micronutrientes nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo

Doses (D) g ha⁻¹		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Cu
Co	Mo	g kg^{-1}						mg kg^{-1}				
		Aplicação via foliar (VF)										
0	800	60	8,7	21,3	2,0	2,4	3,5	23,4	53	35	45	4
10	800	60	7,9	18,8	2,0	2,2	3,1	18,6	49	34	43	3
20	800	58	8,3	20,5	2,2	2,3	3,6	23,0	52	36	44	4
30	800	60	7,9	18,9	1,6	2,3	3,4	24,0	50	32	37	3
	Média	60	8,2	19,9	1,9	2,3	3,4	22,3	51	34	42	4
		Aplicação via solo (VS)										
0	800	56	8,0	19,0	1,7	2,2	3,3	22,2	47	34	40	3
10	800	59	7,3	16,4	1,6	1,9	2,9	15,2	38	32	40	3
20	800	57	7,9	18,7	1,7	2,2	3,4	19,0	55	41	39	3
30	800	56	8,7	19,3	2,0	2,3	3,7	21,3	58	43	41	4
	Média	57	8,0	18,4	1,8	2,2	3,3	19,4	50	37	40	3
		Controle (C)										
0	0	60,4	9,3	17,3	1,9	2,1	3,4	21	57	40	43	5
		Teste F										
D		$0,3^{ns}$	$0,5^{ns}$	$1,3^{ns}$	$0,07^{ns}$	$1,2^{ns}$	$1,57^{ns}$	$2,19^{ns}$	$1,8^{ns}$	$1,1^{ns}$	$1,7^{ns}$	$0,7^{ns}$
VF x VS		$3,7^{ns}$	$0,2^{ns}$	$2,6^{ns}$	$0,57^{ns}$	$1,7^{ns}$	$0,22^{ns}$	$2,33^{ns}$	$0,1^{ns}$	$1,7^{ns}$	$5,8^{ns}$	$2,2^{ns}$
C x Fatorial		$0,4^{ns}$	$0,6^{ns}$	$1,7^{ns}$	$0,05^{ns}$	$0,4^{ns}$	$0,07^{ns}$	$2,13^{ns}$	$1,5^{ns}$	$1,5^{ns}$	$0,7^{ns}$	$0,5^{ns}$

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

4.1.1.6 Teores de macro e micronutrientes na parte aérea

Conforme pode ser observado na Tabela 14, o teor de macro e micronutrientes na parte aérea não apresentou interações significativas entre os fatores doses, forma de aplicação e controle. Desta forma, procedeu-se o desdobramento de um fator dentro do outro. Para o fator doses, conclui-se que existem, pelo menos, dois níveis que diferem entre si. O teor de Cu nas folhas do controle é estatisticamente inferior aos demais tratamentos. Resultado similar não foi identificado em outros trabalhos.

Tabela 14 - Teores de macro e micronutrientes na parte aérea em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar e via solo

Doses (D) g ha^{-1}		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Mn	Fe	Zn	Cu
Co	Mo	g kg^{-1}						mg kg^{-1}				
		Aplicação via foliar (VF)										
0	800	21,0	11,1	16,7	11,3	1,6	3,1	56,7	47,9	184,1	27,1	2,6
10	800	21,4	11,0	16,9	10,0	1,5	2,2	56,7	36,2	180,1	21,6	2,8
20	800	21,5	12,1	13,6	9,4	1,8	2,4	41,4	30,5	115,1	19,5	2,7
30	800	20,9	11,6	13,8	11,2	1,6	2,6	55,5	50,9	217,0	29,5	3,9
	Média	21,2	11,5	15,3	10,5	1,6	2,6	52,6	41,4	174,1	24,4	3,0
		Aplicação via solo (VS)										
0	800	24,2	6,9	12,1	8,3	1,5	1,8	50,4	50,0	187,7	28,6	2,4
10	800	24,4	11,2	16,7	9,5	1,8	2,9	73,5	62,9	236,9	41,1	5,5
20	800	19,8	11,8	14,9	9,1	1,9	1,9	64,5	57,2	243,2	22,8	3,2
30	800	23,2	12,9	18,8	10,5	1,8	2,5	54,4	41,2	204,0	22,5	2,8
	Média	22,9	10,7	15,6	9,4	1,8	2,3	60,7	52,8	217,9	28,8	3,5
		Controle (C)										
0	0	21,0	11,7	15,7	11,7	1,6	2,5	53,4	32,5	213,1	33,1	0,5
Teste F												
D		3,7^{ns}	0,4^{ns}	0,5^{ns}	1,28^{ns}	1,6^{ns}	0,2^{ns}	1,1^{ns}	0,1^{ns}	0,7^{ns}	0,6^{ns}	1,1^{ns}
VF x VS		0,5^{ns}	2,6^{ns}	0,0^{ns}	3,5^{ns}	6,1^{ns}	0,4^{ns}	2,4^{ns}	3,2^{ns}	3,1^{ns}	1,1^{ns}	0,6^{ns}
C x Fatorial		2,4^{ns}	1,1^{ns}	1,1^{ns}	1,1^{ns}	3,4^{ns}	0,8^{ns}	1,7^{ns}	2,3^{ns}	1,6^{ns}	3,1^{ns}	8,0*

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

A interação de Co com a absorção e o transporte de Fe nas plantas foi destacada em uma série de estudos (WALLACE; MUELLER; ALEXANDER, 1976; TERRY, 1981; BLAYLOCK et al., 1986). O excesso de Co pode induzir deficiência de Fe em soja (BLAYLOCK et al., 1986), por influenciar o transporte de Fe para a parte aérea, o que não foi observado no presente trabalho. Esse efeito, no entanto, parece ser importante somente quando há restrição na disponibilidade e absorção de Ca e Fe pelas plantas (WALLACE; MUELLER; ALEXANDER, 1976; TERRY, 1981). Cabe destacar a ausência de efeito da aplicação de Co e Mo nos teores de N nas folhas de soja, conforme observado em outros estudos (CAMPO; LANTMANN, 1998; TANAKA et al., 1993; MARCONDES; CAIRES, 2005).

4.1.2 Cultivares

4.1.2.1 Teores de Co e Mo nas sementes

As médias dos teores de Co e Mo nas sementes das cultivares FTS1154RR (FTS) e M6410IPRO (MNST) estão apresentadas na Tabela 15. Pode-se observar que houve diferença significativa para o teor de Co nas sementes para as interações entre os fatores doses e cultivares. Desta forma, procedeu-se o desdobramento de um fator dentro do outro.

Para o fator doses conclui-se que existem, pelo menos, dois níveis que diferem estatisticamente entre si. Para o fator cultivares conclui-se que a média do teor de Co nas sementes da cultivar FTS é significativamente superior à média do teor de Co nas sementes da cultivar MNST. Com relação ao controle, conclui-se que a média dos teores de Co é menor do que as médias nos demais tratamentos. Como o efeito de dose foi significativo dentro dos dois níveis de cultivar, procedeu-se o desdobramento desse fator.

Tabela 15 - Teores de Co e Mo nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar em diferentes cultivares de soja

Doses (D) g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	----------mg kg^{-1}----------	
		--- Aplicação foliar FTS (AF) ---	
0	800	0,03	92
10	800	0,79	131
20	800	1,48	132
30	800	2,02	111
	Média	1,10	116
		--Aplicação foliar MNST (AM)-	
0	800	0,01	80
10	800	0,78	88
20	800	0,92	91
30	800	1,88	107
	Média	0,90	91
		------- Controles (CF, CM) -------	
0	0	> 0,002	48
0	0	> 0,002	34
----------Teste F ----------			
D		3,87**	0,14^{ns}
AF x AM		14,71*	1,74^{ns}
C x Fatorial		343 **	18,681 **
AF: D		157**	-
AM: D		126**	-
CFxCM		0,01^{ns}	6,2*
D0 : AF x AM		0.07 ^{ns}	-
D10 : AF x AM		0,09 ^{ns}	-
D20 : AF x AM		33,46**	-
D30 : AF x AM		1,87^{ns}	-

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

Para o desdobramento das doses dentro dos dois níveis do fator cultivar, verificou-se diferença significativa na dose D20. Entretanto, para as demais doses, a cultivar FTS apresentou teores de Co levemente superiores ao da cultivar MNST.

Para o fator doses desdobrado dentro dos níveis das cultivares FTS e MNST, fez-se o teste de ajuste de modelos de regressão. A Figura 4 apresenta as equações estimadas mais adequadas dentro de cada cultivar.

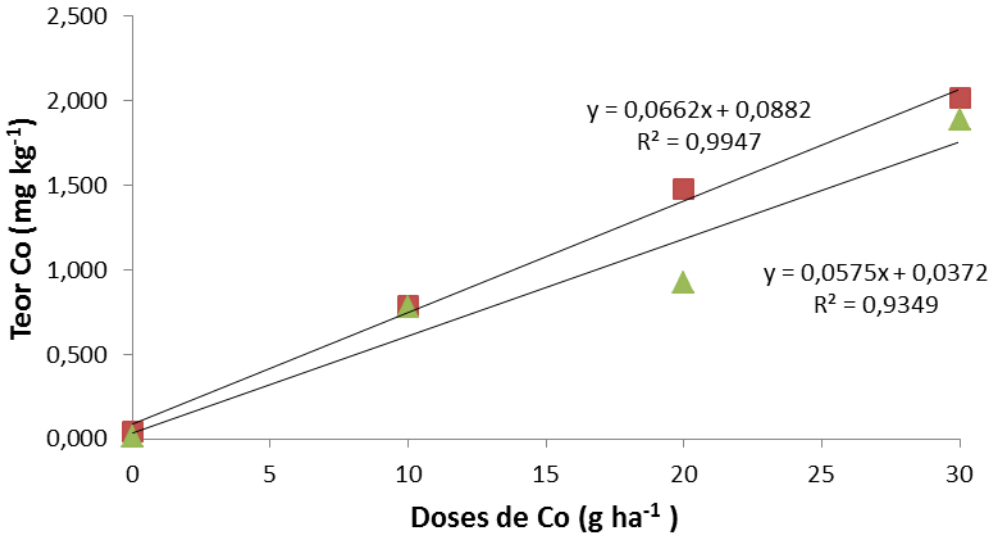

Figura 4 - Teores de Co nas sementes em função de doses de Co aplicadas via foliar variedade FTS (■) e variedade MNST (▲)**.**

Com relação aos teores de Mo nas sementes (Tabela 15), verifica-se que houve diferença estatística entre as médias dos teores de Mo nas sementes das diferentes variedades. Verificou-se, também, que a média do teor de Mo nas sementes do controle apresentou diferença significativa quando comparada às demais médias

4.1.2.2 Teores de Co e Mo na parte aérea

Conforme pode ser observado na Tabela 16, o teor de Co na parte aérea apresentou interações significativas entre os fatores doses, forma de aplicação e controle. Portanto, procedeu-se o desdobramento de um fator dentro do outro. Para o fator doses, conclui-se que existem, pelo menos, dois níveis que diferem entre si. Para o fator cultivares, conclui-se que não há diferença entre as médias do teor de Co na parte aérea. Com relação ao controle,

conclui-se que a média dos teores de Co é inferior as médias dos teores de Co nos demais tratamentos. Como o efeito de doses foi significativo dentro dos dois níveis de cultivar, procedeu-se o desdobramento desse fator.

Tabela 16 - Teores de Co e Mo na parte aérea em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes cultivares de soja

Doses (D) g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	----------mg kg^{-1}----------	
		--- Aplicação foliar FTS (AF) ---	
0	800	0,5	1116
10	800	20,7	1209
20	800	23,7	821
30	800	47,2	1179
	Média	23,0	1081,0
		--Aplicação foliar MNST (AM)-	
0	800	0,652	1063
10	800	32,160	1371
20	800	39,800	1501
30	800	59,678	1635
	Média	33,072	1393
		--------Controles (CF, CM) -------	
0	0	0,4	7,1
0	0	0,4	5,1
----------Teste F ----------			
D		17,1**	0,9^{ns}
AF x AM		3,7^{ns}	4,6^{ns}
C x Fatorial		12,3*	56,4**
CFxCM		0,01^{ns}	0,01^{ns}

**significativo a 1% de probabilidade

Para o fator doses desdobrado dentro dos níveis das cultivares FTS e MNST, fez-se o teste de ajuste de modelos de regressão. A Figura 5 apresenta a equação mais adequada para o conjunto de médias das duas cultivares.

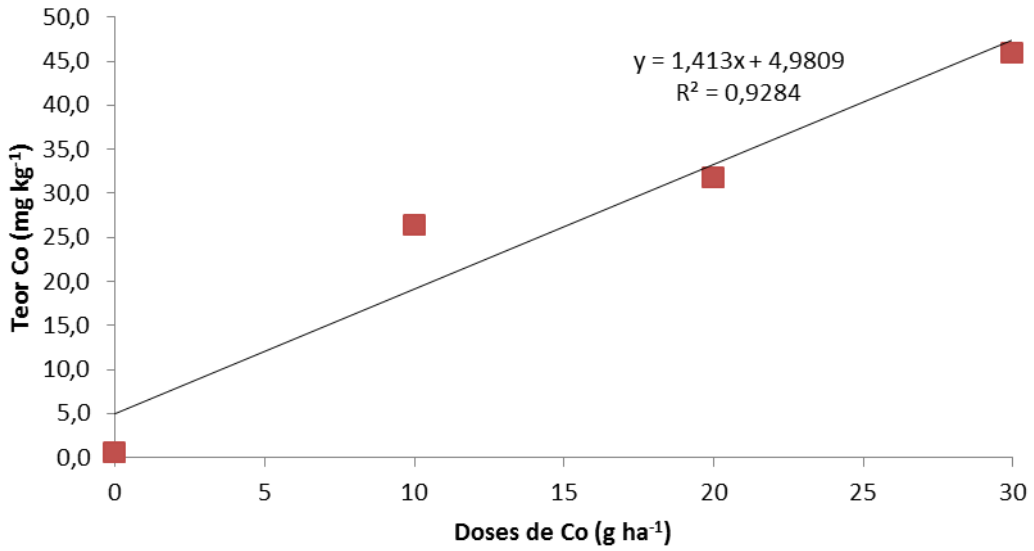

Figura 5 - Teores de Co na parte aérea em função de doses de Co aplicadas via foliar nas variedades FTS e MNST (■).

4.1.2.3 Teores de Co e Mo no solo

Conforme pode ser observado na Tabela 17, os teores de Co e Mo no solo não apresentaram diferença estatística em nenhum dos fatores analisados. A aplicação dos tratamentos foi apenas via foliar, desta maneira, era esperado que não houvessem alterações nos teores destes elementos no solo.

Tabela 17 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes cultivares de soja

Doses (D) g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	--------mg dm^{-3}----------	
		--- Aplicação foliar FTS (AF) ---	
0	800	0,2	0,8
10	800	0,2	0,7
20	800	0,2	0,9
30	800	0,2	0,7
	Média	0,2	0,8
		--Aplicação foliar MNST (AM)-	
0	800	0,2	0,4
10	800	0,3	0,5
20	800	0,2	0,5
30	800	0,3	0,7
	Média	0,2	0,5
		-------Controles (CF, CM) -------	
0	0	> 0,002	0,237
0	0	> 0,002	0,18
----------Teste F ----------			
D		1,8^{ns}	0,31^{ns}
AF x AM		7,4^{ns}	3,7^{ns}
C x Fatorial		0,7^{ns}	1,7^{ns}
CFxCM		0,1^{ns}	0,9^{ns}
AF: D		0,8^{ns}	3,1^{ns}

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

4.1.2.4 Componentes da produção e IC, IF e NBI

Conforme pode ser observado na Tabela 18, não houve interação positiva para nenhuma das variedades em função dos diferentes níveis de doses. Com relação ao fator variedades, verificou-se diferença significativa para a altura das plantas, matéria seca da parte aérea e matéria seca das sementes. A variedade tardia apresentou maior ganho de massa nessas três variáveis. Pode-se concluir que a variedade FTS apresentou menor ganho de massa seca e menor desenvolvimento aéreo devido à sua maior precocidade, ou seja, sofrendo mais com o ciclo menor, com menos tempo para se restabelecer de condições adversas iniciais e com a insuficiência fotoperiódica (CÂMARA; HEIFFIG, 2000; EMBRAPA, 2004). Resultados similares foram observados por Stülp et al. (2009), em pesquisa analisando o desempenho agronômico de diferentes variedades de soja.

Tabela 18 - Componentes da produção e IC, IF e NBI em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar em diferentes variedades de soja

Doses (D) g ha⁻¹		Primeira inserção	Altura da planta	Número de vagens	Massa seca parte aérea	Massa seca sementes	Índice de clorofila	Índice de flavonóides	NBI
Co	Mo	----------cm----------			----------g----------		----------Dualex----------		
		----------Aplicação foliar FTS (AF)----------							
0	800	18	129	16	4,7	5,6	26,6	0,6	46,2
10	800	21	143	14	4,6	5,4	28,2	0,6	47,4
20	800	16	141	13	4,4	4,8	23,8	0,7	36,3
30	800	22	139	19	6,0	6,0	27,6	0,6	44,5
	Média	19	138	15	4,9	5,4	26,5	0,6	43,6
		----------Aplicação foliar MNST (AM)----------							
0	800	27	157	15	6,2	6,0	22,1	0,6	38,7
10	800	18	163	16	6,3	6,5	31,8	0,6	57,9
20	800	20	162	14	6,3	6,5	29,9	0,6	48,5
30	800	18	165	17	6,8	6,0	25,9	0,5	49,7
	Média	21	162	16	6,4	6,3	27,4	0,6	48,7
		----------Controles (CF, CM)----------							
0	0	20	149	13	6,5	5,7	23,9	0,6	43,2
0	0	22	155	12	6,6	4,5	29,8	0,5	57,8
----------Teste F----------									
D		$0,9^{ns}$	$0,77^{ns}$	$1,50^{ns}$	$3,0^{ns}$	$0,09^{ns}$	$1,0^{ns}$	$1,8^{ns}$	$1,2^{ns}$
AF x AM		$0,6^{ns}$	28,24**	$0,08^{ns}$	20,0**	2,11*	$0,15^{ns}$	$4,4^{ns}$	$1,5^{ns}$
C x Fatorial		$0,35^{ns}$	$0,27^{ns}$	$0,42^{ns}$	$0,06^{ns}$	$1,9^{ns}$	$1,12^{ns}$	$0,2^{ns}$	$1,1^{ns}$
CFxCM		$0,14^{ns}$	$0,55^{ns}$	$2,25^{ns}$	17,24**	6,68*	$0,81^{ns}$	$1,1^{ns}$	$0,9^{ns}$

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

4.1.2.5 Teores de macro e micronutrientes nas sementes

Verificou-se que os teores de macro e micronutrientes nas sementes de soja (Tabela 19) apresentaram interação significativa com a variação das doses de Co e Mo, apenas para os elementos Fe e Zn. Há diferença estatística para os teores de Fe entre os fatores variedades e entre a interação dos dois controles. Para os teores de Zn na semente, houve pequena diferença entre o fator variedade e o Controle x Fatorial. Não foram identificados resultados similares. Provavelmente o fator variedade esteja influenciando estes teores, sugere-se, portanto, o desenvolvimento de novas pesquisas.

Tabela 19 - Teores de macro e micronutrientes nas sementes em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes variedades de soja

Doses (D) g ha⁻¹		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Cu
Co	Mo	----------g kg^{-1}----------						----------mg kg⁻¹----------				
		---------- Aplicação foliar FTS (AF) ----------										
0	800	60	8,7	21,3	2,0	2,4	3,5	23,4	52,6	34,8	45,5	3,8
10	800	60	7,9	18,8	2,0	2,2	3,1	18,6	49,0	34,3	42,8	3,4
20	800	58	8,3	20,5	2,2	2,3	3,6	23,0	51,7	36,4	43,6	4,0
30	800	60	7,9	18,9	1,6	2,3	3,4	24,0	50,1	32,2	36,5	3,0
	Média	60	8,2	19,9	1,9	2,3	3,4	22,3	50,8	34,4	42,1	3,6
		---------- Aplicação foliar MNST (AM) ----------										
0	800	59,5	8,4	19,4	2,5	2,3	3,4	24,8	42,1	37,6	40,4	3,3
10	800	58,4	7,3	17,6	1,3	2,2	3,0	22,1	38,6	31,1	35,1	2,8
20	800	59,4	8,0	18,4	2,3	2,3	3,3	27,9	40,2	36,8	37,4	3,2
30	800	55,1	8,1	18,0	1,9	2,3	3,2	26,0	39,9	37,1	36,9	3,0
	Média	58,1	7,9	18,4	2,0	2,3	3,2	25,2	40,2	35,7	37,5	3,1
		---------- Controles (CF, CM) ----------										
0	0	60,4	9,3	17,3	1,9	2,1	3,4	20,6	57,2	39,6	43,0	5,1
0	0	55,5	8,3	17,5	1,7	2,1	3,5	20,4	37,6	47,8	51,6	3,8
---------- Teste F ----------												
D		2,9^{ns}	1,7^{ns}	1,9^{ns}	1,7^{ns}	0,8^{ns}	0,1^{ns}	0,6^{ns}	0,3^{ns}	0,0^{ns}	1,7ns	0,7^{ns}
AF x AM		0,4^{ns}	0,8^{ns}	4,8^{ns}	0,1^{ns}	0,0^{ns}	0,1^{ns}	1,5^{ns}	14,9**	0,6^{ns}	5,8*	2,1^{ns}
C x Fatorial		0,2^{ns}	0,4^{ns}	0,2^{ns}	0,3^{ns}	0,1^{ns}	0,9^{ns}	2,4^{ns}	0,0ns	0,3^{ns}	27,9**	0,5^{ns}
CFxCM		3,1^{ns}	3,9^{ns}	0,0^{ns}	0,9^{ns}	1,6^{ns}	0,4^{ns}	0,2^{ns}	5,1*	1,6^{ns}	0,0^{ns}	2,8^{ns}

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

4.1.2.6 Teores de macro e micronutrientes na parte aérea

Conforme pode ser observado na Tabela 20**,** os teores de macro e micronutrientes na parte aérea não apresentaram diferenças significativas para nenhum nutriente. Apenas uma pequena diferença entre Controle x Fatorial para o Mn. Resultados similares não foram identificados.

Tabela 20 - Teores de macro e micronutrientes na parte aérea em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar, em diferentes variedades de soja

Doses (D) g ha⁻¹		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Mn	Fe	Zn	Cu
Co	Mo	----------g kg^{-1}----------						----------mg kg⁻¹----------				
		---------- Aplicação via foliar (VF) ----------										
0	800	21,0	11,1	16,7	11,3	1,6	3,1	56,7	47,9	184,1	27,1	2,6
10	800	21,4	11,0	16,9	10,0	1,5	2,2	56,7	36,2	180,1	21,6	2,8
20	800	21,5	12,1	13,6	9,4	1,8	2,4	41,4	30,5	115,1	19,5	2,7
30	800	20,9	11,6	13,8	11,2	1,6	2,6	55,5	50,9	217,0	29,5	3,9
	Média	21,2	11,5	15,3	10,5	1,6	2,6	52,6	41,4	174,1	24,4	3,0
		---------- Aplicação foliar MNST (AM) ----------										
0	800	23,4	8,2	13,1	10,7	2,3	1,8	54,0	55,3	224,9	29,1	2,5
10	800	22,2	8,0	16,9	10,5	1,5	1,6	53,5	57,7	210,6	28,3	2,5
20	800	25,2	8,6	17,8	10,9	1,8	2,0	61,3	54,4	227,5	31,5	3,3
30	800	22,6	8,0	14,4	10,9	1,8	1,9	57,4	66,3	234,4	31,6	2,7
	Média	23,3	8,2	15,6	10,7	1,8	1,8	56,6	58,4	224,4	30,1	2,7
		---------- Controles (CF, CM) ----------										
0	0	21,0	11,7	22,0	11,7	1,6	2,5	50,4	32,5	213,1	33,1	0,5
0	0	19,8	9,7	17,7	11,2	1,8	1,7	63,3	40,0	193,7	28,2	0,4
---------- Teste F ----------												
D		0,7^{ns}	1,7^{ns}	0,4^{ns}	0,6^{ns}	1,4^{ns}	0,3^{ns}	0,1^{ns}	1,1^{ns}	0,7^{ns}	0,3^{ns}	0,7^{ns}
AF x AM		1,0^{ns}	0,1^{ns}	0,0^{ns}	0,2^{ns}	1,7^{ns}	4,3^{ns}	0,3^{ns}	0,9^{ns}	3,4^{ns}	1,8^{ns}	0,9^{ns}
C x Fatorial		1,8^{ns}	1,7^{ns}	0,7^{ns}	0,6^{ns}	0,8^{ns}	0,3^{ns}	0,3^{ns}	5,8*	0,6^{ns}	5,9^{ns}	0,6^{ns}
CFxCM		3,4^{ns}	1,7^{ns}	0,7^{ns}	0,4^{ns}	0,0^{ns}	0,83^{ns}	0,6^{ns}	0,2^{ns}	0,1^{ns}	0,9^{ns}	0,1^{ns}

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade

4.2 EXPERIMENTO DE CAMPO

4.2.1 Teores de Co e Mo nas sementes

Conforme pode ser observado na Tabela 21, para o teor de Mo nas sementes, verificou-se diferença significativa apenas entre o controle e os demais tratamentos. A diferença entre os tratamentos com doses fixas de Mo não foram significativas e, portanto, o resultado está dentro do esperado. Os teores médios de Mo nas sementes variaram entre 38,5 e 39,1 mg kg^{-1} e estão de acordo com aqueles obtidos por Milani (2007) e Oliveira (2015), em estudos visando enriquecimento de sementes de soja com Mo em função da aplicação foliar deste elemento via foliar.

Tabela 21 - Teores de Co e Mo nas sementes em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	--------mg kg^{-1}----------	
0	0	0,195	16,4a
0	800	0,117	38,9b
10	800	0,504	38,5b
20	800	0,864	39,1b
30	800	1,093	36,0b
Teste F		37,3 *	28,1*

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
** = significativo a 1% de probabilidade

Verificou-se um aumento crescente no teor de Co nas sementes em função das doses. Conforme pode ser observado na Figura 6 os teores de Co nas sementes se ajustaram a uma equação de regressão linear positiva, indicando o incremento nos teores deste elemento nas sementes em função do aumento das doses. O maior teor observado foi 1,33 mg kg^{-1}, analisado na dose de 30 g ha^{-1}, enquanto que o menor teor foi de 0,08 mg kg^{-1}, observado no controle.

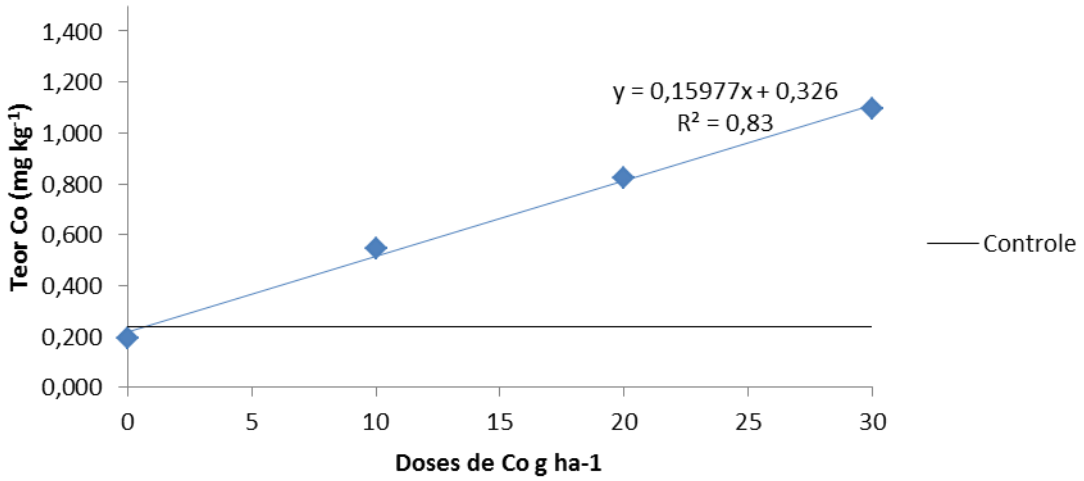

Figura 6 - Teores de Co nas sementes (◆), em função de doses de Co aplicadas via foliar**.**

Os teores de Co nas sementes de soja enriquecidas variaram de 0,41 mg kg^{-1} até 1,33 mg kg^{-1}. Comportamento similar foi verificado por Zeller e Feller (1999) que, estudando o transporte do Co em trigo, verificaram que este elemento é transportado para os grãos quando aplicado em aberturas realizadas nas folhas.

4.2.2 Teores de Co e Mo nas folhas

Com relação ao teor de Co nas folhas, foram verificadas diferenças significativas com os dados se ajustando a uma função linear positiva (Figura 7), em função do incremento deste nutriente. Com relação ao Mo, verifica-se que os tratamentos com dose fixa deste elemento apresentam diferença significativa a nível de 5% de probabilidade do controle (Tabela 22). Verificou-se, também, que o tratamento com aplicação da dose 0 g ha^{-1} de Co e 800 g ha^{-1} de Mo apresentou média do teor de Mo nas folhas inferior aos demais tratamentos com dose fixa de 800g ha^{-1} de Mo. Na literatura consultada não foram encontrados dados similares.

Tabela 22 - Teores foliares de Co e Mo nas folhas em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	--------mg kg^{-1}----------	
0	0	0,21	3a
0	800	0,17	96b
10	800	1,04	166c
20	800	1,49	153c
30	800	2,11	123c
Teste F		153,613**	29,471**

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
** = significativo a 1% de probabilidade

Conforme pode ser observado na Figura 7, os teores de Co nas folhas se ajustaram a uma equação de regressão linear positiva, indicando o incremento nos teores deste elemento em função do aumento das doses. O maior teor observado foi 2,11 mg kg^{-1}, analisado na dose de 30 g ha^{-1}, enquanto que o menor teor foi de 0,21 mg kg^{-1}, observado no controle.

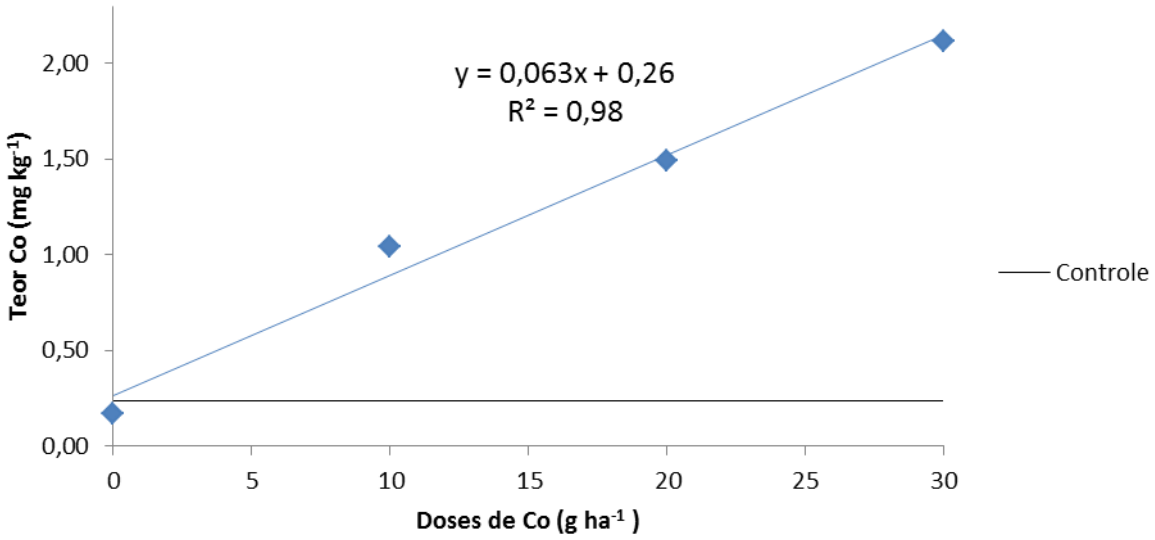

Figura 7 - Teores de Co foliar (◆), em função de doses de Co aplicadas via foliar.

4.2.3 Teores de Co e Mo no solo

Conforme apresentado na Tabela 23, verifica-se que não houve diferença significativa para os teores de Co e Mo no solo, em função das diferentes doses. Com base nessas informações, verifica-se que os teores de Co e Mo no solo não tiveram influência sobre a variação dos teores desses elementos nas folhas e sementes observadas nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

Tabela 23 - Teores de Co e Mo no solo em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		Teor Co	Teor Mo
Co	Mo	--------mg dm^{-3}----------	
0	0	3	0,8
0	800	4	1,0
10	800	3	0,9
20	800	3	0,9
30	800	3	0,8
Teste F		1,4^{ns}	1,1^{ns}

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
** = significativo a 1% de probabilidade

4.2.4 Qualidade Fisiológica das sementes

A Tabela 24 apresenta o conjunto de dados referentes à germinação e ao vigor das sementes de soja, em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar.

Para germinação, observa-se que os valores estão superiores aos considerados adequados para sementes comerciais, que é acima de 80% (BRASIL, 1992). No entanto, não foram detectadas diferenças estatísticas para esta variável.

Tabela 24 - Valores das médias da germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), índice de vigor (IV), índice de uniformidade de desenvolvimento (IU) e índice de crescimento (IC), em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		G	EA	IV	IC	IU
Co	Mo	----------%----------		----------SVIS®----------		
0	0	93	44	846 a	834 a	876
0	800	91	49	866 a	855 a	895
10	800	92	62	837 a	817 a	887
20	800	92	70	914 b	922 b	896
30	800	94	72	875 ab	865 a	901
Teste F		0,71^{ns}	7,8*	8,7*	14,7 *	2,18 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
**significativo a 1% de probabilidade

Com relação ao envelhecimento acelerado, foi identificada diferença significativa entre os tratamentos, podendo-se concluir que ao menos dois níveis diferem entre si. Foi realizado o teste de ajuste de modelos de regressão e os dados foram ajustados a uma equação quadrática crescente, apresentando correlação positiva entre doses de Co e essa variável. Além disso, todos os tratamentos apresentaram valores superiores aos do controle (Figura 8). O ponto de máximo da equação foi na dose 29 g ha^{-1} de Co, resultando numa porcentagem de 71,7 de germinação das sementes envelhecidas. Analisando-se os resultados, pode-se concluir que a aplicação de doses crescentes de Co influenciou o vigor das sementes, aumentando a resistência dos lotes às condições extremas de temperatura e umidade criadas durante o envelhecimento acelerado. Com relação à aplicação do Mo, não foram observadas diferenças significativas para esta variável.

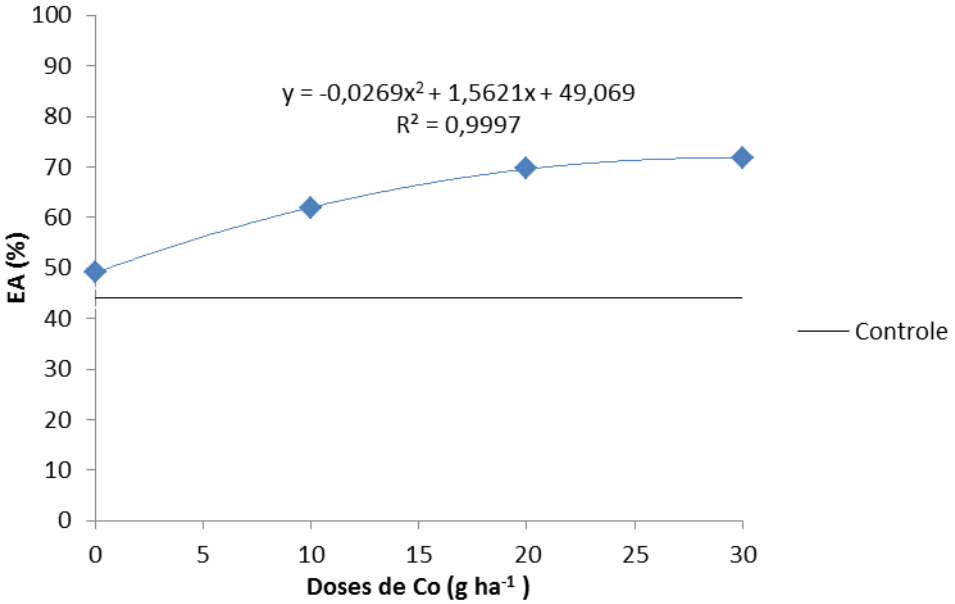

Figura 8 - Valores do envelhecimento acelerado (◆), em função das doses de Co, aplicadas via foliar**.**

A Ohio Crop Improvement Association, entidade certificadora de sementes no estado de Ohio/EUA, realizando análises SVIS® em amostras de sementes de soja, desenvolveu uma escala em que sementes de alto vigor originam índices de 800 a 1000 após germinação durante 3 dias (MARCOS FILHO; KIKUTI; LIMA, 2009). No presente experimento, observou-se que todos os tratamentos apresentaram índice de vigor acima de 800.

Na Figura 9, os resultados obtidos pelo SVIS® estão representados graficamente, evidenciando-se o efeito deste elemento no desenvolvimento inicial das plantas de soja. Foi observado que as plântulas originadas de sementes enriquecidas com dose de 20 g ha^{-1} de Co apresentaram maiores índices de crescimento (IC) e de vigor (IV), diferindo significativamente dos demais tratamentos. A Figura 10 apresenta imagens das plântulas originárias de sementes enriquecidas e não enriquecidas com Co. Resultados similares foram verificados por Samimy (1978), que observou interação entre as doses de Co aplicadas em plantas de soja e o desenvolvimento do hipocótilo, sugerindo que há influência deste elemento na inibição da produção de etileno, influenciando positivamente o desenvolvimento das plântulas. Em estudos similares, Grover e Purves (1976) observou efeito semelhante em sementes de pepino e, também, atribui os resultados ao efeito inibidor deste elemento à biossíntese do etileno.

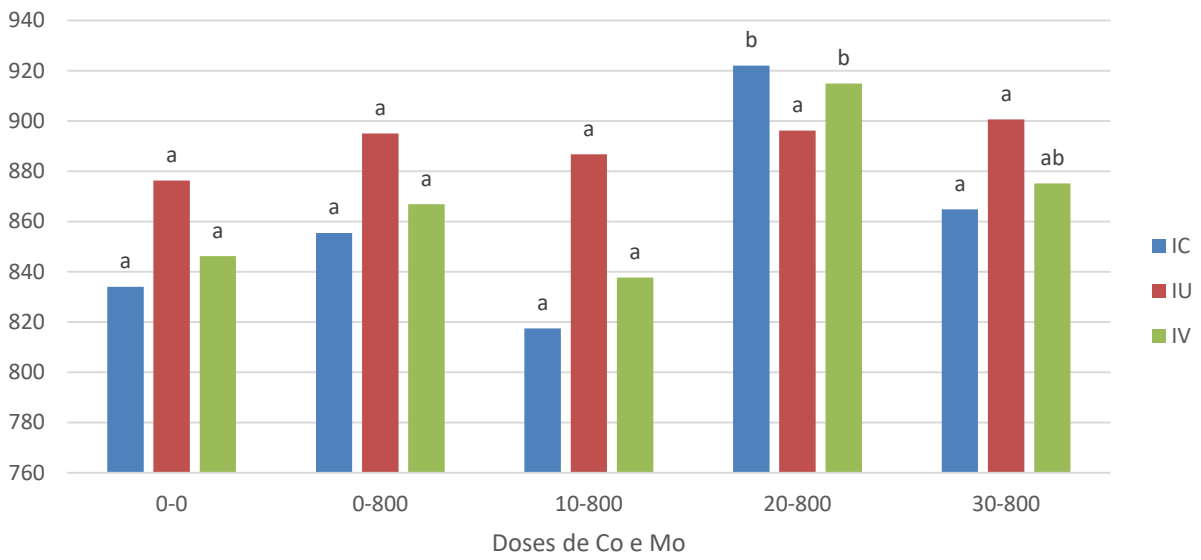

Figura 9 - Influência das doses de Co e Mo no Índice de Vigor (IV) e Índice de crescimento (IC) nas sementes de soja obtidos pelo SVIS®. Barras seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

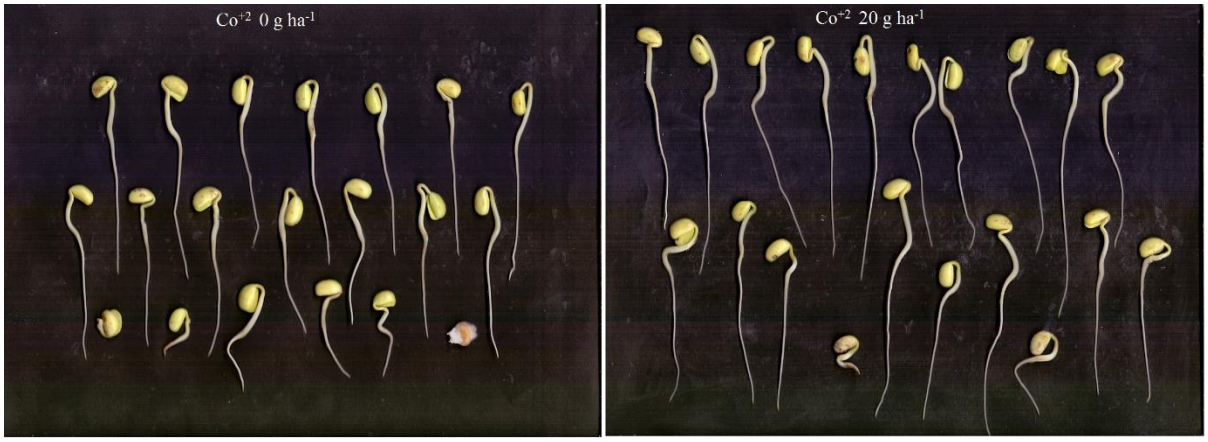

Figura 10- Imagens das plântulas de soja analisadas por meio do software SVIS® em função de diferentes doses Co aplicadas via foliar**.**

Os resultados não evidenciaram aumento no índice de crescimento e de vigor das sementes em função do enriquecimento com Mo.

4.2.5 Produtividade

Conforme os resultados da análise de variância dos dados, não houve diferença significativa para a produtividade das plantas de soja submetidas à aplicação foliar de diferentes doses de Co e Mo (Tabela 25). Resultado semelhante foi observado por Milani (2007), que, estudando o enriquecimento de sementes de soja com Mo por meio de aplicações foliares, constatou que a aplicação de diferentes doses de Mo não afetam significativamente a produtividade.

Tabela 25 - Valores das médias da produtividade de sementes (kg ha^{-1}) em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		Produtividade
Co	Mo	---kg ha^{-1}---
0	0	4448
0	800	4190
10	800	4186
20	800	4298
30	800	4588
Teste F		$0,28^{ns}$

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
** = significativo a 1% de probabilidade

Vieira et al. (2002) obtiveram resultados similares estudando o acúmulo de Mo em sementes de feijão. Por meio de aplicações foliares, verificaram que a aplicação de altas doses de Mo (1.440 g ha^{-1}) não é tóxica, não ocorrendo diferença significativa na produtividade.

Moraes et al. (2008) verificaram que a aplicação de diferentes doses de Co não afetou a produtividade da cultura da soja. Tal fato pode ser justificado pela observação de Borkert (2002), o qual cita que, em geral, vários trabalhos de pesquisa com micronutrientes demonstram ausência de resposta à aplicação de micronutrientes na maioria das situações. As justificativas para estes resultados são: a capacidade adequada de suprimento pelos solos, em função de sua origem e a presença de contaminantes contendo micronutrientes em corretivos e fertilizantes (BISSANI; GIANELLO, 2003).

4.2.6 Teores de macro e micronutrientes nas sementes

Verificou-se que os teores de macro e micronutrientes nas sementes de soja (Tabela 26) apresentaram interação significativa para os elementos Ca, Mg, S, Mn, Zn e Cu, se ajustando a equações lineares decrescentes. Com relação ao teor de N, verificou-se que a adição de Co e Mo não influenciou o teor de N nas sementes.

Tabela 26 – Teores de macro e micronutrientes nas sementes, em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		N	P	K	Ca$^{(1)}$	Mg$^{(2)}$	S$^{(3)}$	B	Fe	Mn$^{(4)}$	Zn$^{(5)}$	Cu$^{(6)}$
Co	Mo	----------g kg^{-1}----------						----------mg kg^{-1}----------				
0	0	58,8	5,1	19,1	2,5a	3,1a	3,9a	40a	84a	35a	44ab	12,9a
0	800	55,8	5	19,5	2,3ab	3,1a	3,9a	41a	71b	35a	45a	12,3a
10	800	54,8	4,7	17,8	2,1ab	2,9b	3,6ab	39b	64b	31b	40bc	12,3a
20	800	56,6	4,7	19,5	2,2ab	3,0ab	3,8a	41a	64b	32b	40bc	10,9ab
30	800	56,5	4,7	18,4	1,9c	2,7b	3,3b	35b	64b	30b	38c	8,6b
	Teste F	0,99^{ns}	0,99^{ns}	0,83^{ns}	11,7*	10,7*	5,95*	3,6*	12,6**	11,7*	7,1**	3,6*

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade.

$y^{(1)}$=-0,106x+2,2(R^2=0,38); $y^{(2)}$=-0,113x+3,1(R^2=0,40); $y^{(3)}$=-0,17x+3,9(R^2=0,26);$y^{(4)}$=-1,5x+34,7(R^2=0,32); $y^{(5)}$=-1,9x+44,1(R^2=0,32); $y^{(6)}$=-1,2x+13,07(R^2=0,33)

4.2.7 Teores de macro e micronutrientes nas folhas

Verificou-se que os teores de macronutrientes nas folhas das plantas de soja (Tabela 27) não apresentaram interação significativa com a variação das doses de Co e Mo. Segundo Ambrosano et al. (1997), os teores adequados dos nutrientes em folhas de soja são: N (40-54 g kg^{-1}); P (2,5-5,0 g kg^{-1}); K (17-25 g kg^{-1}); Ca (4-20 g kg^{-1}); Mg (3-10 g kg^{-1}) e S (2,1-4,0 g kg^{-1}). No presente estudo, somente os teores de N e K revelaram-se ligeiramente inferior ao recomendado.

Tabela 27 – Teor de macro e micronutrientes nas folhas, em função de doses de Co e Mo, aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		N	P	K	Ca	Mg	S	B$^{(1)}$	Fe	Mn	Zn	Cu
Co	Mo	----------g kg^{-1}----------						----------mg kg^{-1}----------				
0	Mo	35,4	2,9	8,6	19	5,6	2,6	45ab	173	82	20	5,1
0	0	34,4	2,7	9,7	19,6	5,5	2,6	54a	167	81	22	5,3
10	800	35,6	2,7	9,9	17,7	5,2	2,6	50ab	152	82	26	6,3
20	800	36	2,7	9,4	18	5,8	2,9	48ab	153	78	26	5,3
30	800	35,5	2,2	10	17,8	4,6	2,5	42b	122	84	27	5,0
Teste F		0,61^{ns}	1,22^{ns}	0,25^{ns}	0,96^{ns}	0,62^{ns}	0,76^{ns}	3,6*	0,14^{ns}	1,1^{ns}	0,9^{ns}	0,8^{ns}

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade **significativo a 1% de probabilidade.

$y^{(1)}$=54,4x-3,6 (R^2=0,27);

4.2.8 Análise Dualex do IC, IF e NBI

Conforme pode ser observado na Tabela 28**,** os valores do IC, IF e NBI não apresentaram diferenças significativas em função das variações das doses de Co e Mo aplicadas via foliar.

Tabela 28 - Valores das médias do IC, IF e NBI em função de doses de Co e Mo aplicadas via foliar

Doses g ha^{-1}		Índice de clorofila	Índice de flavonóides	NBI
Co	Mo	----------Dualex----------		
0	0	35,5	0,6	58
0	800	33,9	0,6	57,4
10	800	34,9	0,6	60,8
20	800	34,6	0,6	55,3
30	800	34,7	0,6	58,7
Teste F		0,4^{ns}	0,98^{ns}	0,35^{ns}

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

n.s. = não significativo;
* = significativo a 5% de probabilidade
** = significativo a 1% de probabilidade

5 CONCLUSÕES

- Verificou-se viabilidade no enriquecimento de sementes de soja com Co e Mo;
- A variedade mais precoce apresentou maiores teores de Co e Mo nas sementes;
- O enriquecimento com Co interferiu positivamente no vigor das sementes, sendo obtido melhor desempenho com a aplicação de 20 g ha^{-1} de Co;
- O enriquecimento com Mo não alterou o vigor das sementes;
- A aplicação foliar proporcionou maiores teores de Co nas sementes em comparação à aplicação via solo. No entanto, a aplicação via solo proporcionou maiores teores de Mo nas sementes em comparação à aplicação via foliar.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, R. L. B.; FENNER, M.; EDWARDS, P. J. Changes in dormancy level in Sorghum halepense seeds induced by water stress during seed development. **Functional Ecology**, London, v. 6, n. 5, p. 596-605, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Estatísticas**. Disponível em: http://www.abrasem.com.br/site/estatisticas/. Acesso em: 17 out. 2016.

AUBERT, H.; PINTA, M. **Trace elements in soils**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1980. 395 p.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C. Utilização de micronutrientes. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 6., 2003, Ibirubá. **Palestras...** Ibirubá, 2003. p. 52-63.

BLAYLOCK, A. D.; DAVIS, T. D.; JOLLEY, V. D.; WALSER, R. H. Influence of cobalt and iron on photosynthesis, chlorophyll, and nutrient concentration in regreening chlorotic tomatoes and soybeans**. Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 9, p. 823-838, 1986.

BORKERT, C. M. Ganhos em produtividade de culturas anuais com micronutrientes na Região Sul. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5., Guarapava. **Resumos de palestras...** Guarapuava, 2002. p. 81-96.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Efeito do teor de Molibdênio nas sementes e da aplicação de Molibdênio via sementes sobre a produtividade da soja na safra 2004/05**. Maracaju: Fundação MS, 2005. 10 p. (Informativo Técnico, 02).

CALDEIRA, C. M. Vigor de sementes de girassol pela análise computadorizada de plântulas. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 4, p. 346-353, 2014.

CÂMARA. G. M. de S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 3, p. 67-69, 2006.

CÂMARA, G. M. de S.; HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M. de S. **Soja.** Tecnologia da produção II. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. p. 81-119.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 355-366. (Documentos, 180).

CAMPO, R. J.; LANTMANN, A. F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 8, p. 1245-1253, 1998.

CAMPO, R.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 110, n. 3, p. 219-224, 2009.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**. Ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP, 2000.

CERETTA, A. C.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P. S.; MOREIRA, I. C. L.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. E. Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 576-581, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos, Brasília, DF, v. 3, n. 8, 2016. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_05_27_09_24_04_boletim_graos_maio__2016_-_final.pdf. Acesso em: 30 maio 2016.

DA SILVA, C.; SOUZA, M. F. P. Aplicação foliar de Molibdênio em soja: efeitos na produtividade e qualidade fisiológica da semente. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 343, 2014.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVINATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com Cobalto e Molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2741-2752, 2012.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – Região central do Brasil – 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 239 p. (Sistemas de Produção, 6).

EMBRAPA. **Fixação biológica de nitrogênio**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica> Acesso em: 24 jan. 2017.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.

FONSECA, Fernando Cavicchioli. **Utilização de molibdênio via foliar no enriquecimento de sementes de soja**. 2006. 25 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2006.

GEORGE, E.; MARSCHNER, H.; JAKOBSEN, I. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. **Critical Reviews in Biotechnology**, Boca Raton, v. 15, n. 3-4, p. 257-270, 1995.

GLADSTONES, J. S.; LONERAGAN, J. F.; GOODCHILD, N. A. Field responses to cobalt and molybdenum by different legume species, with inferences on the role of cobalt in legume growth. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 28, n. 4, p. 619-628, 1977.

GOLO, A. L.; KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M. Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de Molibdênio e Cobalto. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 40-49, 2009.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant Physiology**, Rockville, v. 131, n. 3, p. 872-877, 2003.

GROVER, S.; PURVES, W. K. Cobalt and plant development interactions with ethylene in hypocotyl growth. **Plant Physiology**, Rockville, v. 57, n. 6, p. 886-889, 1976.

GUERRA, C. A.; MARCHETTI, M. E.; ROBAINA, A. D.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, C.; NOVELINO, J. O. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, Molibdênio e Cobalto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2006.

HANDRECK, K. A.; RICEMAN, D. S. Cobalt distribution in several pasture species grown in culture solutions. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 20, n. 2, p. 213-226, 1969.

HOFFMASTER, A. L.; FUJIMURA, K.; MCDONALD, M. B.; BENNET, M. A. An automated system for vigor testing three-day-old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 31, n. 3, p. 701-713, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Circular Técnica, 35).

HUNGRIA, M.; CHUEIRE, L. M. O.; MEGÍAS, M.; LAMRABET, Y.; PROBANZA, A.; GUTTIERREZ MANERO, F. J.; CAMPO, R. J. Genetic diversity of indigenous tropical fast-growing rhizobia isolated from soybean nodules. **Plant and Soil**, The Hague, v. 288, p. 343-356, 2006.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE - IPNI. **Como a planta de soja de desenvolve**. Piracicaba: POTAFOS, 2012. 21 p. Disponível em: http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/9EB3E1289BF2532B83257AA0003BF72A/$FILE/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf. Acesso em: 17 out. 2016.

JACINTHO, A. O. A determinação espectrofotométrica do Cobalto pelo método da 2, 2'-dipiridil cetoxima (I)-estudos sobre o reativo, pH e tampão. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 32, p. 253-268, 1975.

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. Conteúdo de Molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 3, p. 30-39, 1986.

JAYAKUMAR, K.; JALEEL, C. A. Uptake and accumulation of cobalt in plants: a study based on exogenous cobalt in soybean. **Botany Research International**, Dubai, v. 2, n. 4, p. 310-314, 2009.

KAISER, B. N.; GRIDLEY, K. L.; BRADY, J. N.; PHILLIPS, T.; TYERMAN, S. D.The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n. 5, p. 745-754, 2005.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. **O controle de qualidade agregando valor à semente de soja** - Série sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 12 p. (Circular Técnica, 54).

MAEDA, J. A.; DO LAGO, A. A.; DE TELLA, R. Efeito de calagem e adubação com NPK na qualidade de sementes de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 9, p. 941-944, 1986.

MAGALHÃES, W. A.; MEGAIOLI, T. G.; FREDDI, O. S.; SANTOS, M. A. Quantificação de nutrientes em sementes de soja. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 13, n. 2, p. 95-100, 2016.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994. 153 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: Princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARCONDES, J. A. P.; CAIRES, E. F. Aplicação de Molibdênio e Cobalto na semente para cultivo da soja. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 687-694, 2005.

MARCOS FILHO, J. Testes de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 3, p. 1-24.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. Procedures for evaluation of soybean seed vigor, including an automated computer imaging system. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

MARCOS FILHO, J.; BENNETT, M. A.; MCDONALD, M. B.; EVANS, A. F.; GRASSBAUCH, E. M. Assessment of melon seed vigour by an automated computer imaging system compared to traditional procedures. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 34, n. 2, p. 485-497, 2005.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern : International Potash Institute, 1987. 687 p.

MILANI, G. L. **Aplicação foliar de Molibdênio durante a maturação das sementes de soja**: efeitos na produtividade, no teor de Mo, na qualidade das sementes e na nodulação. 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MORAES, L. M. de F.; LANA, R. M. Q.; MENDES, C.; MENDES, E.; MONTEIRO, A.; ALVES, J. F. Redistribuição de Molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1496-1502, 2008.

OLIVEIRA, C. O. **Produção e posterior semeadura de sementes de soja enriquecida com Molibdênio: qualidade fisiológica, alterações químicas e nutricionais, métodos e épocas de aplicação**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/124452>.

OLIVEIRA, F. A. de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de; KLEPKER, D. **Fertilidade do solo e nutrição da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular Técnica, 50).

PAIVA, B. M.; ALVES, R. M.; HELENO, N. M. Aspectos socioeconômicos da soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 230, p. 7-14, 2006.

PALIT, S.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Effects of cobalt on plants. **The Botanical Review**, New York, v. 60, n. 2, p. 149-181, 1994.

POSSENTI, J. C. **Qualidade fisiológica de sementes de soja enriquecidas com Molibdênio.** 2007. 51 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: http://www.R-project.org/.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RENGEL, Z. **Mineral nutrition of crops**: Fundamental mechanisms and implications. Boca Raton: CRC Press, 1999.

ROBSON, A. D.; SNOWBALL, K. Response of narrow-leafed lupins to cobalt application in relation to cobalt concentration in seed. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 27, n. 5, p. 657-660, 1987.

SAKO, Y.; McDONALD, M. B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A. F.; BENNETT, M. A. A system for automated sees vigour assessment. **Seed Science & Technology**, Bassersdorf, v. 29, p. 625-636, 2001.

SAMIMY, C. Influence of cobalt on soybean hypocotyl growth and its ethylene evolution. **Plant Physiology**, Rockville, v. 62, n. 6, p. 1005-1006, 1978.

SANTOS, L. A.; REIS, V. M. **A formação do nódulo em leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008.

SCHUCH, L. O. B.; ASSIS, F. N.; MAIA, M. S. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (Avena strigosa Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 229-234, 1999.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Soja:** molibdênio e cobalto. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 36 p. (Documentos, 322).

SILVA, A. F. da; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; CARVALHO, M. A. C. de; DALCHIAVON, F. C.; NOETZOLD, R. Inoculação com Bradyrhizobium e formas de aplicação de Cobalto e Molibdênio na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 12, p. 98-104, 2011.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G. Análise de imagens na avaliação da qualidade fisiológica de sementes. In: SCHUCH, L. O. B.; VIEIRA, J. F.; RUFINO, C. A.; ABREU JUNIOR, J. S. **Sementes**: produção, qualidade e inovações tecnológicas. 1. ed. Pelotas: UFPel, 2012. p. 249-279.

SOUZA, L. C. F. de; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-15993, 2009.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. L.; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I. Desempenho agronômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1240-1248, 2009.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; CAMPIDELLI, C.; DIAS, O. S. Resposta da soja ao Molibdênio aplicado em solo arenoso de cerrado de baixa fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 2, p. 253-256, 1993.

TERRY, N. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 3, p. 561-578, 1981.

TIFFIN, L. O. Translocation of manganese, iron, cobalt, and zinc in tomato. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, n. 10, p. 1427-1432, 1967.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers.** 4. ed. New York: MacMilan, 1985.

TRIGO, L. F. N.; PESKE, S.T.; GASTAL, M. F.; VAHL, L. C.; TRIGO, M. F. O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 19, n. 1, p. 111-115, 1997.

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. Washington, DC, 2016. (WASDE – 560). Disponível em: <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2016.

USEPA. **Method 3050 B** - Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Washington, DC, 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf> Acesso em: 10 maio 2016.

VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; PERES, J. R. R. **Fixação biológica de nitrogênio em solos de Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1994.

WALLACE, A.; MUELLER, R. T.; ALEXANDER, G. V. High levels of four heavy metals on the iron status of plants. **Communications of Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 7, p. 43-46, 1976.

WELCH, R. M. Effects of nutrient deficiencies on seed production and quality. **Advances in Plant Nutrition**, New York, v. 2, p. 205-247, 1986.

WIERSMA, D.; GOOR, B. J. van. Chemical forms of nickel and cobalt in phloem of *Ricinus communis*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 45, n. 4, p. 440-442, 1979.

YAGUSHI, J. T. **Testes de envelhecimento acelerado e análise computadorizada de imagens de plântulas para avaliação do desempenho de sementes de soja durante o armazenamento.** 2011. 102 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

ZELLER, S.; FELLER, U. Long-distance transport of cobalt and nickel in maturing wheat. **European Journal of Agronomy**, Montrouge Cedex, v. 10, n. 2, p. 91-98, 1999.