

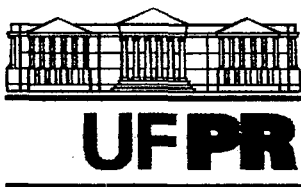
JOSÉ ALFREDO PRESTES MARCONDES

**NODULAÇÃO E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO PELA SOJA EM
RESPOSTA À APLICAÇÃO DE COBALTO E MOLIBDÊNIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Agronomia,
Área de Concentração: Ciências do Solo, Curso
de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de
Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

CURITIBA
2001



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO (MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL (DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

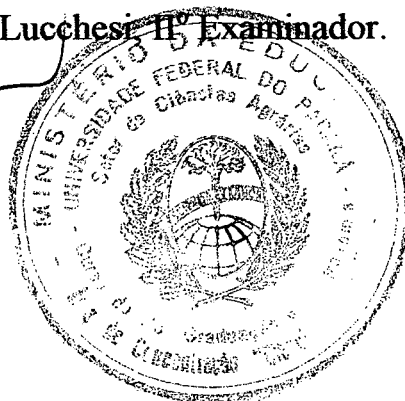
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOSÉ ALFREDO PRESTES MARCONDES**, com o título: **"Nodulação e absorção de nitrogênio pela soja em resposta à aplicação de cobalto e molibdênio"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo".

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 13 de agosto de 2001.

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires, Presidente.

Prof. Dr. Jeferson Zagonel, 1º Examinador.

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, 2º Examinador.



Aos meus pais *João e Almira* que dedicaram suas vidas à família

OFEREÇO

Aos meus irmãos *Ivan, João, Isabel, Ana e Paulo* que são exemplos de união e amizade

A minha homenagem

À minha esposa *Nhara* que teve a grandeza de entender a importância deste trabalho e aos meus filhos *Andressa, Thays e Rodrigo* alegrias da minha vida

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Eduardo Fávero Caires pelo estímulo e diferente orientação.

À Universidade Federal do Paraná (Setor de Ciências Agrárias), pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa pela concessão de materiais, instalações e funcionários.

Ao Engenheiro Agrônomo Maurício Rossi pelo apoio e colaboração.

A Industria de Fertilizantes Macrofertil pela contribuição.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e divulgação deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA.....	3
2.2 COBALTO NO SOLO E NA PLANTA.....	4
2.3 RESPOSTA DA SOJA AO COBALTO.....	6
2.4 MOLIBDÊNIO NO SOLO E NA PLANTA.....	8
2.5 RESPOSTA DA SOJA AO MOLIBDÊNIO.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	14
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	15
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO GENÓTIPO DA SOJA.....	16
3.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	16
3.5 DIAGNOSE FOLIAR.....	16
3.6 LEITURA DE CLOROFILA.....	17
3.7 NODULAÇÃO E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO.....	17
3.8 PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO.....	18
3.9 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS.....	18
3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	19
4 RESSULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 MOLIBDÊNIO.....	20
4.2 COBALTO.....	24
5 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO, DA CAMADA DE 0-20 CM, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	14
TABELA 2 – NÚMERO E MASSA DE NÓDULOS, LEITURA DE CLOROFILA, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E ALTURA DE PLANTAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	21
TABELA 3 – NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM, MASSA DE 100 GRÃOS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E TEOR DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	22
TABELA 4 – CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	24
TABELA 5 – NÚMERO E MASSA DE NÓDULOS, LEITURA DE CLOROFILA, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E ALTURA DE PLANTAS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	25
TABELA 6 – NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM, MASSA DE 100 GRÃOS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E TEOR DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – P 1999/2000.....	27
TABELA 7 – CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	28
TABELA 8 – CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS DE COBALTO E MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	29

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICO 1 – MÉDIAS MENSAS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DOS MESES DE DEZEMBRO A MAIO DE 2000.....	15
FIGURA 1 – PLANTAS DE SOJA APRESENTANDO SINTOMAS DE FITOTOXICIDADE DE COBALTO, CARACTERIZADOS VISUALMENTE POR CLOROSE E NECROSE DOS BORDOS DAS FOLHAS AOS 12 DIAS APÓS A SEMEADURA. PONTA GROSSA- PR, 1999/2000.....	26
FIGURA 2 – EFEITO DE TOXIDEZ DO COBALTO EM SOJA, APRESENTANDO SINTOMA SEMELHANTE À DEFICIÊNCIA DE MANGANÊS. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000.....	29

RESUMO

A utilização de produtos para tratamento de sementes, visando o fornecimento de cobalto e molibdênio, nutrientes importantes ao processo de fixação biológica do nitrogênio, tem sido muito divulgada. Com o objetivo de avaliar, em condições de campo, o efeito da aplicação de cobalto e molibdênio sobre a nodulação da soja e a fixação biológica do nitrogênio, foi realizado um experimento no município de Ponta Grossa (PR), em solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO álico textura argilosa, com pH (CaCl₂) 5,3. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 4x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro doses de cobalto (0, 2, 4, e 8 g.ha⁻¹) e duas doses de molibdênio (0 e 48 g.ha⁻¹), aplicadas na forma de solução via sementes, na presença de inoculante. A aplicação de cobalto e, ou molibdênio nas sementes não exerceu efeito significativo sobre a nodulação e a absorção de nitrogênio pela soja. O molibdênio aplicado na forma de molibdato de sódio reduziu os teores de ferro nas folhas de soja, sem causar reflexos sobre a produção de grãos. As doses de cobalto causaram redução linear significativa na altura das plantas, na concentração de zinco nas folhas e na produção de grãos de soja. Os teores foliares de manganês foram influenciados significativamente pela interação entre a aplicação de cobalto e molibdênio. A aplicação de doses de cobalto aumentou os teores de manganês nas folhas somente na ausência de molibdênio e, com a aplicação de 8 g.ha⁻¹ de cobalto, a aplicação de molibdênio prejudicou a absorção de manganês pela soja. Os resultados mostraram que a aplicação de molibdênio nas sementes de soja não é necessária em solo com a acidez corrigida e que o cobalto, aplicado nas sementes na forma de sulfato de cobalto, em doses superiores a 2 g.ha⁻¹, é fitotóxico para a cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, Fixação simbiótica, Nutrição mineral.

ABSTRACT

The utilization of products for seed treatment with the aim of supplying cobalt and molybdenum, nutrients which are important for the process of biological nitrogen fixation, has been widespread. With the purpose of evaluating, under field conditions, the effect of cobalt and molybdenum application on soybean nodulation and biological fixation of nitrogen, an experiment was conducted in Ponta Grossa (PR), in soil classified as alic Red Latosol clayey texture, pH in CaCl₂ 5.3. The experimental design used was that of randomized complete blocks in a 4x2 factorial scheme, with four replicates. The treatments consisted in the combination of four different doses of cobalt (0, 2, 4 and 8 g.ha⁻¹) and two doses of molybdenum (0 and 48 g.ha⁻¹) applied as a solution via seeds in the presence of inoculant. The application of cobalt and or molybdenum to the seeds had no significant effect on the nodulation and nitrogen uptake by the soybean plant. Molybdenum applied in the form of sodium molybdate reduced the iron contents in the soybean leaves, with no bearing on yield. The cobalt doses brought about significant linear decrease in plant height, leaf concentration of zinc, and yield. Leaf contents of manganese were significantly influenced by the interaction between the application of cobalt and molybdenum. The application of cobalt doses increased leaf contents of manganese only in the absence of molybdenum, and, with the application of 8 g.ha⁻¹ of cobalt, the application of molybdenum impaired manganese uptake by the soybean plant. The results showed that the application of molybdenum to soybean seeds is not necessary in pH corrected soils, and that cobalt applied to the seeds as cobalt sulphate in doses higher than 2 g.ha⁻¹ is phytotoxic for the soybean crop.

Key-words: *Glycine max* (L.) Merrill, Symbiotic fixation, Mineral nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, abrangendo uma área cultivada de cerca de 11 milhões de hectares e com uma produção superior a 30 milhões de toneladas (Santos, 1999). A cultura da soja apresenta grande interesse econômico, e necessita de adequado fornecimento de nutrientes para a obtenção de altas produtividades. Dois importantes nutrientes para essa cultura são o cobalto e o molibdênio.

O uso de técnicas agrícolas avançadas tem levado a um aumento significativo da produtividade da soja, o que tem causado esgotamento de micronutrientes nos solos, sem uma reposição adequada. A remoção de micronutrientes por cultivos sucessivos, os processos de erosão, a redução da matéria orgânica e a presença de acidez, podem levar à ocorrência de deficiências de alguns micronutrientes essenciais (Martens & Westermann, 1991).

A simbiose entre espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* com as leguminosas caracteriza-se como um dos sistemas fixadores de nitrogênio mais eficientes que se conhece na atualidade, e o molibdênio tem papel muito importante na redução do nitrogênio nesse processo.

As condições de acidez do solo apresentam grande importância na disponibilidade de molibdênio necessário para o processo de fixação do nitrogênio através da simbiose de *Rhizobium* x leguminosas. Mascarenhas et al. (1990) e Lantmann et al. (1989) comprovaram que tanto a calagem como a aplicação de molibdênio proporcionaram condições para uma maior absorção de molibdênio e, conseqüentemente, maior atividade da enzima redutase do nitrato, resultando em maior teor de proteína nos grãos de soja.

A calagem tem sido considerada uma prática suficiente para o suprimento desse nutriente para as culturas, por torná-lo mais disponível às plantas em conseqüência da elevação do pH do solo, que promove a liberação de íons Mo adsorvidos na superfície dos óxidos de ferro e alumínio (Stout et al., 1951; Hodgson, 1963; Leeper, 1970).

Em alguns solos, os conteúdos total e solúvel de Mo são baixos, e assim, somente a calagem não é suficiente para suprir as exigências pelas culturas (Bataglia et al., 1975).

Poucos trabalhos têm sido realizados relacionando o efeito do cobalto na produtividade da cultura da soja. Estudos sobre cobalto no Brasil são escassos, especialmente referente ao efeito de fertilização e fixação de nitrogênio. Mesmo assim, o cobalto é um dos nutrientes mais utilizados, normalmente associado ao molibdênio, na forma de tratamento de sementes. Além disso, os estudos têm dado maior atenção ao efeito do molibdênio.

O cobalto é essencial à fixação simbiótica do nitrogênio e componente da vitamina B₁₂, a qual é necessária à síntese de leghemoglobina nos tecidos dos nódulos de fixação do nitrogênio. O cobalto é requerido em pequenas quantidades para a formação da leghemoglobina, que é essencial para a fixação do nitrogênio e atua como um indicador da atividade do nódulo (Raj, 1987). Portanto, maior eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio e altas produtividades de soja podem ser obtidas com a ativação do *Rhizobium* natural dos solos pela ação do cobalto.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a resposta da soja à aplicação de doses de cobalto, na ausência e na presença de molibdênio, através da aplicação via sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A disponibilidade de micronutrientes no solo é afetada, principalmente, por condições de pH, de óxido-redução, pelo teor de matéria orgânica e pela presença de outros íons.

A produtividade da cultura da soja em solos de baixa fertilidade pode ser satisfatória, entretanto, se níveis altos de produção são desejados, torna-se necessário o suprimento adequado tanto de macro como de micronutrientes.

Embora as plantas necessitem de pequenas quantidades de micronutrientes para sua nutrição, eles são tão importantes quanto os macronutrientes. A falta de qualquer um deles pode limitar o crescimento das plantas, mesmo quando todos os nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas (Lei do Mínimo). Por outro lado, o seu excesso pode causar toxidez às plantas, acarretando em diminuição da produtividade. A necessidade de conhecimento da nutrição e adubação com micronutrientes tem crescido nos últimos anos, uma vez que as deficiências desses vêm se acentuando e acarretando em restrições severas ao rendimento das culturas.

2.1 MICRONUTRIENTES NA CULTURA DA SOJA

As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura da soja dependem da produtividade, da variedade, das condições de clima, fertilidade do solo, adubação e tratamentos culturais. Do total de micronutrientes extraídos pela cultura uma parte retorna ao solo através da decomposição de folhas, hastes, vagens e raízes. No entanto, uma parcela variável, de acordo com cada nutriente, é retirada juntamente com os grãos. Essa parcela exportada foi estimada em função do total absorvido pela planta, como sendo 84,6% para o molibdênio, 70,3% para o zinco, 53,1% para o cobre, 45,5% para o cloro, 32,6% para o manganês, 30,8% para o boro e 24,7% para o ferro (Bataglia & Mascarenhas, 1977).

Em estudo envolvendo 22 cultivares de soja foram determinados valores exportados pela cultura, em média, de 149,3 g de ferro, 64,2 g de zinco, 32,5 g de

manganês, 28,4 g de boro e 20,0 g de cobre por tonelada de grãos produzidos (Santos et al., 1986). Esses valores variam de acordo com os teores disponíveis no solo, com as condições do ambiente e com a capacidade de extração de cada cultivar. Para o molibdênio, a quantidade exportada variou de 0,12 a 8,08 g por tonelada de grãos (Santos, 1991).

Apesar das pequenas quantidades de micronutrientes exportadas pela colheita de grãos, deve-se considerar que as necessidades da soja em micronutrientes também são pequenas e que as reservas dos solos são limitadas, especialmente dos solos arenosos e dos latossolos sob cerrado, de modo que a contínua retirada pelas plantas sem a devida reposição pode determinar o aparecimento de carências que reduzem a produtividade.

As respostas da soja à adubação com micronutrientes têm sido variadas em função dos solos estudados, do próprio micronutriente, das condições ambientais e dos cultivares utilizados. Para alguns micronutrientes, como molibdênio e zinco, têm sido obtidos resultados altamente positivos no aumento da produtividade e da qualidade dos grãos, enquanto para outros, como cobre, ferro e cobalto, quase não há estudos no Brasil (Santos, 1991).

As quantidades de nutrientes que podem ser aplicadas através das sementes são limitadas. O cobalto e o molibdênio por serem exigidos em pequenas quantidades, são os elementos geralmente fornecidos desta maneira. Sfredo et al. (1997) recomendam para a cultura da soja doses variando de 12 a 25 g ha⁻¹ de molibdênio e 1 a 5 g ha⁻¹ de cobalto.

2.2 COBALTO NO SOLO E NA PLANTA

A necessidade do conhecimento da ocorrência e distribuição do cobalto nos solos é justificada pelo papel que o elemento desempenha na nutrição animal, atuando em diferentes funções bioquímicas através da vitamina B₁₂, onde participa na proporção de um átomo por molécula (Smith, 1948; Maynard & Loosli, 1966; Comhaire, 1967). A sua essencialidade para os vegetais não pode ser generalizada,

uma vez que somente as leguminosas o requerem para a fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico (Ahmed & Evans, 1959; Reisenauer, 1960; Delwiche et al., 1961).

Na litosfera, o teor médio de cobalto é de 40 mg kg^{-1} (Swaine, citado por Furlani et al., 1977). Nos solos, o teor é bastante variável: 5 a 156 mg kg^{-1} (Fugimoto e Sherman, 1950), podendo o valor médio ser considerado igual a 8 mg kg^{-1} (Vinogradov, citado por Furlani et al., 1977). De acordo com os dados compilados por Vanselow (1966), os teores de cobalto em solos de pastagens deficientes são geralmente inferiores a 3 mg kg^{-1} . Apenas uma fração de cobalto total, dependendo do material de origem, pH, teor de argila e outros fatores, é disponível para as plantas (Furlani et al., 1977). A concentração de cobalto varia da mesma maneira que a concentração de ferro, embora esse último se apresente em concentrações muito maiores (Vanselow, 1966).

O cobalto disponível para as plantas está relacionado com o grau de acidez dos solos. A calagem reduz a disponibilidade do elemento (Beeson et al., 1947; Wright & Lawton, 1954), enquanto que a acidificação aumenta o teor disponível (Ekman et al., 1952). O teor de cobalto disponível é diminuído com a lixiviação (Mitchell et al. e Khan & Dubash, citados por Malavolta, 1976). A presença de matéria orgânica reduz a disponibilidade de cobalto. Lazar & Beeson, (1956) observaram que o conteúdo de cobalto nos solos não é indicação suficientemente sensível da disponibilidade do elemento para as plantas e indiretamente para os animais.

A concentração de cobalto na matéria seca das plantas cultivadas fica normalmente entre 0,02 a $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$. O cobalto pode ser absorvido através das folhas, embora seja praticamente imóvel (Gustafson e Schlessinger, 1956). O cobalto é absorvido primeiramente pelas raízes como Co^{++} , sendo transportado na corrente transpiratória, o que causa sua acumulação nas margens e pontas das folhas, tendendo a formar quelatos de modo semelhante ao cobre, ferro, manganês e zinco.

O cobalto também pode deslocar outros íons de locais fisiologicamente importantes e, desse modo, diminuir a absorção e a maneira de atuação dos outros metais pesados (Nicholas & Thomas, 1953). Foi observado por Hewitt (1953) que o

aumento de cobalto induziu à diminuição de ferro e que o efeito tóxico do excesso de cobalto é parecido com a deficiência de manganês.

Encontra-se bem estabelecida na literatura a importância do cobalto para os microrganismos que realizam a fixação de N₂ molecular. O cobalto é quelado por quatro átomos de nitrogênio na estrutura da porfirina. Este cobalto complexado abastece um grupo prostético o qual está associado com um nucleotídeo na coenzima B₁₂ (Kliwer & Evans, 1963).

O cobalto é essencial à fixação simbiótica de nitrogênio, sendo componente da vitamina B₁₂, necessária à formação de um tipo de hemoglobina nos nódulos de fixação do nitrogênio. O elemento é requerido em pequenas quantidades para a formação de leghemoglobina que é essencial para a fixação de nitrogênio e funciona como um indicador da atividade do nódulo. Bertrand & De Wolf, (1954) encontraram altas concentrações de cobalto nos nódulos de raízes de leguminosas, maiores que nas outras partes das plantas. Reisenauer (1960) e Delwiche et al., (1961) observaram que o cobalto é exigido pelo sistema simbiótico de fixação do nitrogênio pela alfafa.

2.3 RESPOSTA DA SOJA AO COBALTO

A aplicação de cobalto em soja tem sido pouco estudada no Brasil, no entanto, ele é um dos nutrientes mais utilizados, associado ao molibdênio, na forma de tratamento de sementes. A deficiência de cobalto afeta a fixação simbiótica do nitrogênio e, por consequência, pode ocasionar sintomas característicos da deficiência desse nutriente, ou seja, amarelecimento generalizado das folhas.

Santos (1999) verificou que a aplicação de 80 mg de cobalto por kg de sementes de soja (cerca de 6,0 g ha⁻¹) causou fitotoxicidade nas plantas emergidas, caracterizada por clorose e necrose dos bordos das folhas primordiais. Apesar disso, as plantas se desenvolveram normalmente.

Estudos conduzidos durante cinco safras consecutivas de soja (1979/80 a 1983/84) em Santa Maria, RS, permitiram constatar resposta positiva à aplicação de cobalto nas sementes em duas delas: 1979/80, com resposta linear até a dose de 1,5 g

ha⁻¹ em solo ácido, e 1981/82, com resposta linear até a dose de 2,0 g ha⁻¹ também em solo ácido, e dose ótima estimada de 0,94 g ha⁻¹ em solo com acidez corrigida (Santos et al., 1984). Em solo sob cerrado, a aplicação de 0,4 g ha⁻¹ de cobalto aumentou o peso de nódulos, em 54 mg por planta, apenas no quarto cultivo de soja após a sua aplicação (Galvão, 1991).

Junqueira Neto et al. (1977) verificaram aumento na produção de sementes de feijão, da ordem de 100%, ao aplicarem 0,25 g ha⁻¹ de cobalto, na forma de cloreto de cobalto, em solução nas sementes. Raj (1987), estudando aplicações de cobalto em ervilha e amendoim (500 mg de nitrato de cobalto por kg de sementes), concluiu que somente a inoculação com *Rhizobium* não é suficiente para aumentar a produtividade destas duas culturas. A eficiência da fixação de nitrogênio e altas produtividades podem ser obtidas com a ativação do *Rhizobium* natural pelo cobalto. Adições de cobalto, em solução nutritiva purificada, resultaram em aumento de 52% no rendimento de matéria seca de soja inoculada com *Bradyrhizobium japonicum* (Sfredo et al., 1997). Plantas sem cobalto revelam sintomas típicos de deficiência de nitrogênio e apresentam menos nitrogênio total do que as supridas com cobalto (Ahmed & Evans, 1960).

O cobalto pode ser tóxico para as plantas quando a sua disponibilidade ultrapassa certos níveis. Haselhoff, citado por Malavolta (1976) mostrou que 1 mg kg⁻¹ de cobalto na solução nutritiva foi tóxico para feijão e milho. Miller (1954), trabalhando com ervilhas, observou que a alongação de segmentos subapicais era afetada pela sacarose. Açúcar mais auxina (ácido indolacético) promoveram uma pequena alongação mas, quando o cobalto estava presente, havia um considerável aumento no comprimento.

A sacarose parece ser responsável pelo aumento na absorção de água e crescimento das células em volume, enquanto que o cobalto seria responsável pela capacidade das paredes celulares se distenderem e conseqüentemente aumentarem a área superficial (Miller, 1954).

Para o Estado do Paraná e região central do Brasil está sendo recomendada à aplicação de 1 a 5 g ha⁻¹ de cobalto, associado ao molibdênio, nas sementes, por

ocasião da semeadura (Embrapa, 1998a.b). Porém, faltam estudos para melhor definição dessa recomendação.

2.4 MOLIBDÊNIO NO SOLO E NA PLANTA

O teor de molibdênio total nos solos encontra-se na faixa de 0,5 a 5,0 mg kg⁻¹, onde ocorre nas seguintes fases: solúvel na solução do solo, adsorvido na fração coloidal, retido na rede cristalina dos minerais primários e quelado à matéria orgânica (Gupta & Lipsett, 1981). Em condições de pH extremamente baixo, o molibdênio existente no solo encontra-se predominantemente em forma não-dissociada de ácido molíbdico (H₂MoO₄). Com o aumento do pH, o H₂MoO₄ se dissocia em (HMoO₄⁻) e, posteriormente, a molibdato (MoO₄²⁻), o qual se torna a forma predominante em solos de pH neutro e alcalino (Davies, 1956; Tiffin, 1972). O suprimento para as plantas é feito na maior parte na forma de MoO₄²⁻, presente na solução do solo, via fluxo de massa (Gupta & Lipsett, 1981). O molibdênio é facilmente liberado dos minerais primários pela intemperização.

Comparado com outros micronutrientes, o molibdênio permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente solúveis. Entretanto, esses molibdatos são adsorvidos nas superfícies de minerais primários e da fração coloidal, fazendo com que a disponibilidade do molibdênio no solo seja dependente do pH. O pH do solo tem sido destacado como um dos fatores de maior influência na disponibilidade de molibdênio.

A disponibilidade do elemento aumenta com o aumento do pH do solo, ao que parece, porque o MoO₄²⁻ fixado é deslocado dos sítios de troca pela hidroxila (Malavolta, 1980). Ainda que as deficiências de molibdênio sejam mais prováveis em solos ácidos, elevada absorção do nutriente pelas plantas pode ocorrer em solos com pH menor do que 5,0, se o conteúdo de matéria orgânica for alto. Presupõe-se que formas orgânicas protejam o molibdênio, evitando a formação de compostos insolúveis que reduzem sua disponibilidade em condições ácidas (Mitchell, citado por Horowitz, 1978).

O mineral que controla a solubilidade do molibdênio não é exatamente conhecido (Lindsay, 1979). As reações e a associação do molibdênio com a matéria orgânica ainda não são perfeitamente compreendidas. Davies (1956) relata teores baixos de molibdênio em solos orgânicos, enquanto Aubert & Pinta (1977) afirmam que esse elemento está intimamente ligado à matéria orgânica do solo. Sinha (1971) sugere que alguns ânions polivalentes, como o fosfato, podem estar conectados à carga negativa de moléculas orgânicas através de pontes formadas com ferro e alumínio. Se as reações do MoO_4^{2-} são parecidas com a do fosfato, é muito provável que este tipo de ligação também ocorra para esse ânion.

Barrow (1970) determinou isotermas de adsorção para o molibdato em solos e mostrou que sua adsorção era muito semelhante à do fosfato e sulfato. Assim, as mesmas propriedades que influenciam a adsorção destes íons devem afetar a do molibdato, ou seja: pH, teores de óxidos de ferro e de alumínio e teores de argila.

Segundo Ellis et al. (1983), existe pouca informação sobre a lixiviação de molibdênio. Parece que para solos ácidos, como aqueles predominantes em nosso meio, o molibdênio é fortemente adsorvido à superfície da fase sólida, o que deve restringir sensivelmente sua mobilidade.

Segundo Adriano (1986), as funções do molibdênio nos processos fisiológicos foram primeiramente estabelecidos por Bortels, em 1930, que mostrou que este elemento era necessário para *Azotobacter* na fixação do N_2 atmosférico. Também Bortels, Jensen e Anderson, citados por Adriano (1986), relataram que o molibdênio era necessário para a fixação simbiótica do N_2 pelas leguminosas.

Nos sistemas biológicos, o molibdênio é constituinte de pelo menos cinco enzimas catalisadoras de reações. Três destas enzimas (redutase do nitrato, nitrogenase e oxidase do sulfito) são encontradas em plantas (Gupta & Lipsett, 1981). A função mais importante do molibdênio nas plantas está associada com o metabolismo do nitrogênio. Esta função está relacionada à ativação enzimática, principalmente com as enzimas nitrogenase e redutase do nitrato.

A nitrogenase catalisa a redução do N_2 atmosférico a NH_3 , reação pela qual o *Rhizobium* dos nódulos radiculares supre de nitrogênio à planta hospedeira. Por esta

razão, leguminosas deficientes em molibdênio freqüentemente apresentam sintomas de deficiência de nitrogênio. A nitrogenase contém íons molibdênio e ferro, ambos necessários para a ativação da enzima (Adriano, 1986).

O molibdênio é necessário para as plantas quando o nitrogênio é absorvido na forma de NO_3^- , porque é componente da enzima redutase do nitrato. Esta enzima catalisa a redução biológica do NO_3^- a NO_2^- , que é o primeiro passo para a incorporação do nitrogênio, como NH_2 , em proteínas.

O efeito sinérgico entre HPO_4^{2-} e MoO_4^{2-} , isto é, a aplicação de fosfato aumentando a absorção de molibdênio pela planta, é há muito tempo conhecido. Gupta & Munro (1969) verificaram que a aplicação de fósforo, sem a de molibdênio, aumentou levemente o teor deste último no tecido da planta, porém, com aplicação de fósforo e de molibdênio houve aumento significativo no teor do micronutriente no tecido. Como no solo a adsorção aniônica se processa com a seguinte intensidade: fosfato > molibdato > sulfato (Parfitt, 1978), isto significa que a aplicação de HPO_4^{2-} desloca o MoO_4^{2-} dos sítios de adsorção, propiciando condições favoráveis para sua maior absorção pela planta ou perda por lixiviação.

Os teores de molibdênio em plantas variam desde $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ (deficientes) a até mais de 20 mg kg^{-1} , sendo considerados valores normais os encontrados entre $0,1$ e $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Seu baixo teor na planta deve-se à pequena quantidade presente na solução do solo (Mengel & Kirkby, 1982).

Plantas deficientes em molibdênio apresentam crescimento limitado, suas folhas começam a clarear (empalidecer) e eventualmente murcham. A formação da flor pode ser restrita. A similaridade com a deficiência de nitrogênio é particularmente aplicável às leguminosas, tendo em vista que a deficiência de molibdênio pode restringir a nutrição de nitrogênio por afetar ambos os processos: redução do NO_3^- e fixação de N_2 .

2.5 RESPOSTA DA SOJA AO MOLIBDÊNIO

O molibdênio é o micronutriente mais utilizado nas lavouras de soja do Brasil. Pesquisas realizadas no Rio Grande do Sul e no Paraná demonstram que a cultura apresenta alto potencial de resposta à aplicação de molibdênio, chegando, em alguns casos, a duplicar a produtividade (Santos, 1991). A resposta ao molibdênio pelas culturas tem sido freqüente, talvez em decorrência dos aumentos de produtividade e da extração contínua pelas colheitas. No caso da cultura da soja, que apresenta capacidade para a fixação simbiótica do nitrogênio com demanda adicional de molibdênio para o complexo da nitrogenase, tem-se observado a necessidade de doses elevadas de calcário para a obtenção de altas produtividades. Parte dessa resposta tem sido associada à maior liberação de molibdênio do solo e, portanto, ao melhor suprimento de nitrogênio às plantas (Sedberry Júnior et al., 1973; Lantmann et al., 1985; Burmester et al., 1988; Adams et al., 1990).

As respostas à adubação com molibdênio no Brasil, têm sido bastante variáveis. Diversos experimentos com soja não apresentaram aumentos de rendimento de grãos ou matéria seca (Mascarenhas et al., 1967, 1973; Bellintani Neto & Lám-Sanchez, 1974; Lám-Sanchez & Awad, 1976; Kolling et al., 1981), embora tivesse ocorrido aumento significativo da nodulação em uma das pesquisas (Bellintani Neto & Lám-Sanchez, 1974). Lantmann et al. (1989), em trabalhos com doses de molibdênio e calcário, verificaram que o molibdênio aumentou a produtividade da soja e o teor de proteína nos grãos, em condições de baixo valor de pH. Por outro lado, Sfredo et al. (1995) encontraram resposta à aplicação de molibdênio em estudos com micronutrientes (Mo, Co, Fe e Zn), em aplicações via foliar ou na semente, mesmo em condições de solos com menor acidez.

Em solos com deficiência severa de molibdênio, a soja pode apresentar sintomas característicos de falta desse nutriente, ou seja, amarelecimento das plantas e folhas jovens retorcidas e com manchas necróticas nas margens do limbo dos folíolos (Peterson & Purvis, 1961). Mas, uma ligeira deficiência de molibdênio no solo afeta o sistema de fixação biológica de nitrogênio e os primeiros sintomas na planta de soja

lembram a deficiência de nitrogênio, caracterizada por amarelecimento generalizado da planta (Vidor & Peres, 1988). Nessa situação, os sintomas podem ser corrigidos tanto com o fornecimento de nitrogênio como de molibdênio (De Mooy et al., 1973; Parker & Harris, 1977). A função principal do molibdênio está relacionada justamente com a fixação simbiótica do nitrogênio nos nódulos associados às raízes. A determinação do teor foliar de nitrogênio no estágio do florescimento permite comprovar a deficiência de molibdênio, através da ineficiência da fixação simbiótica, se forem encontrados valores inferiores a 30 ou 40 g kg⁻¹ de nitrogênio no tecido (Santos, 1991).

Parker & Harris (1977) conduziram um experimento comparando o fornecimento de nitrogênio e de molibdênio para uma variedade de soja nodulante e outra não nodulante. A variedade não nodulante respondeu ao nitrogênio mineral na presença ou na ausência de molibdênio, com aumento nos teores de nitrogênio nas folhas e da produção. Por outro lado, a soja nodulante somente respondeu ao nitrogênio na ausência de molibdênio. Nos solos em que as quantidades de molibdênio são suficientes para atender ao metabolismo normal das plantas e ao mecanismo de fixação simbiótica de nitrogênio, as plantas de soja não respondem à adubação mineral com nitrogênio.

A aplicação de molibdênio pode ser feita através de adubação no solo, pulverização foliar ou via sementes. Como as quantidades de molibdênio requeridas pelas plantas são pequenas, sua aplicação, via semente, através da peletização, constitui a forma mais prática e eficaz de adubação (Gupta & Lipsett e Reisenauer, citados por Vidor & Peres, 1988). Em trabalhos de aplicação de molibdênio via sementes, não houve toxicidade ao *Bradyrhizobium japonicum* quando a peletização com molibdênio foi feita imediatamente antes da semeadura da soja, ocorrendo excelente nodulação e aumento no rendimento de grãos (Gupta & Lipsett e Reisenauer, citados por Vidor & Peres, 1988).

Em solos com deficiência de molibdênio o teor deste micronutriente nas sementes é fator determinante para se obter altas produtividades. Gurley & Giddens (1969) verificaram que sementes de soja com teores de molibdênio de 0,05 a 48,4 mg kg⁻¹ proporcionaram produções de grãos crescentes de 1505 a 2755 kg ha⁻¹.

Em contraste com a velocidade de absorção de outros micronutrientes, a velocidade de absorção de molibdênio por plantas de soja, durante as primeiras quatro semanas após a germinação é extremamente baixa. Assim, a ocorrência de altos teores do micronutriente nas sementes e sua transferência para a plântula, durante a germinação e o crescimento inicial, permite suprir total ou parcialmente a necessidade da planta (Ribeiro & Santos, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em campo e desenvolvido no período de dezembro de 1999 a maio de 2000, com o cultivar de soja Coodetec 201. Nesse estudo foi avaliada a resposta da soja à aplicação de cobalto e molibdênio nas sementes.

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

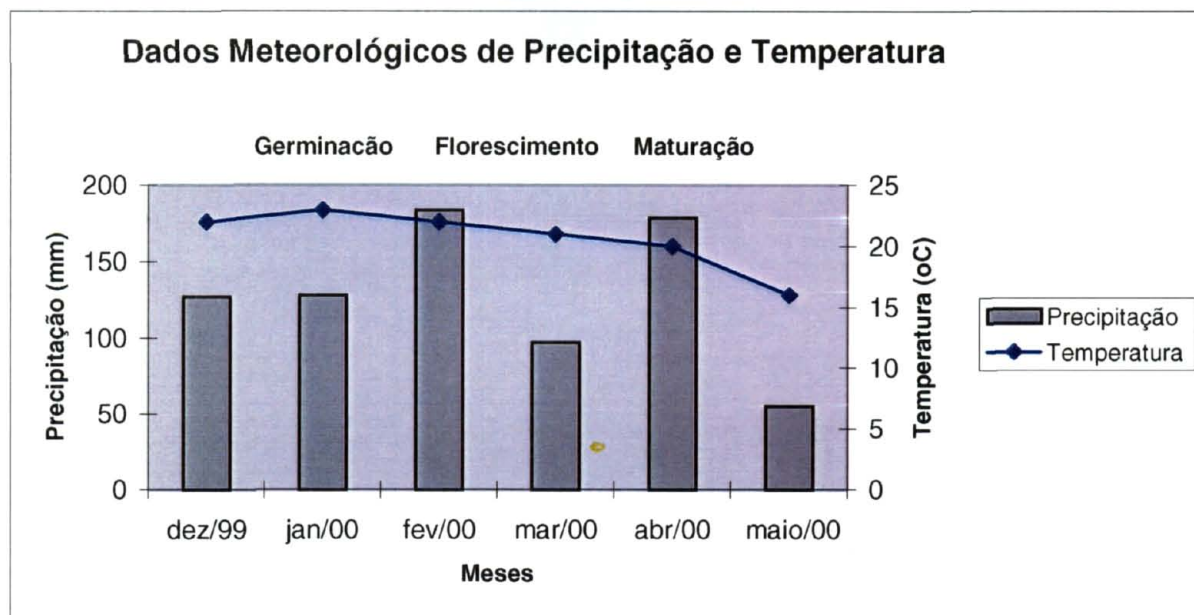
O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa, PR, em um LATOSSOLO VERMELHO álico textura argilosa. Os resultados de análises químicas do solo (Pavan et al., 1992), da camada de 0-20 cm, realizadas antes da instalação do experimento, estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO, DA CAMADA DE 0-20 CM, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

pH (CaCl ₂)	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P (Mehlich-1)	C-orgânico
	mmol/dm ³					mg/dm ³	g/dm ³
5,3	5,35	0	45	20	4,0	5,6	23

A área onde foi realizado o experimento pertence ao Parque Industrial de Ponta Grossa, localizada geograficamente a 25^o 13' 50" de latitude (S) e a 50^o 01' 23" de longitude (N). O clima está classificado, segundo (IAPAR, 1994), como Cfb (subtropical úmido mesotérmico), com uma precipitação média anual de 1500 mm e temperatura média máxima de 24^oC e mínima de 13^oC. No Gráfico 1 estão apresentados dados de temperatura média do ar e precipitação pluvial no decorrer do experimento.

GRÁFICO 1 – MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DOS MESES DE DEZEMBRO DE 1999 A MAIO DE 2000



FONTE: Estação Meteorológica de Vila Velha – IAPAR

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 4x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro doses de cobalto: 0, 2, 4 e 8 g ha⁻¹ e duas doses de molibdênio: 0 e 48 g ha⁻¹, aplicadas nas sementes de soja.

Como fontes de cobalto e molibdênio, foram utilizados sulfato de cobalto (CoSO₄.7H₂O) e molibdato de sódio (Na₂MoO₄.2H₂O), respectivamente. Para o preparo das formulações foi utilizada, como veículo, água de retortagem, que é obtida juntamente com o óleo, através do aquecimento do xisto a temperaturas elevadas, provocando a liberação da água nele contida.

As parcelas foram constituídas por seis linhas de soja, com espaçamento de 0,45 m entre as linhas e comprimento de quatro metros. Foi considerada como área útil as quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade, compreendendo uma área de 5,4 m².

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO GENÓTIPO DA SOJA

O cultivar Coodetec 201 (CD201) pertence ao grupo de maturação semiprecoce, com ciclo total de 123 dias, altura média da planta de 84 cm e massa de 100 sementes em torno de 16 g. Apresenta hábito de crescimento determinado, sendo moderadamente suscetível ao acamamento, hipocótilo de cor verde, flor branca, pubescência cinza, vagem marrom clara, hilo marrom claro, tegumento da semente amarelo, reação a peroxidase positiva e tolerante a deiscência da vagem, segundo (COODETEC, 1999).

3.4 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura foi realizada em 28 de dezembro de 1999, manualmente, em sistema convencional de preparo de solo, utilizando-se 15 sementes por metro linear.

Como adubação de base foram utilizados 330 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-10 (N – P₂O₅ – K₂O) no sulco de semeadura. As sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium* (200 g de inoculante por 50 kg de sementes). O início da emergência das plântulas ocorreu cinco dias após a semeadura.

As pragas foram controladas através de pulverizações com inseticida químico methamidophos, na dosagem de 300 g do i. a. ha⁻¹. O controle de plantas daninhas foi feito através de capinas manuais.

3.5 DIAGNOSE FOLIAR

No início do florescimento da soja realizou-se aleatoriamente, a coleta do terceiro trifólio a partir do ápice das plantas, em dez plantas por parcela. Essas amostras foram lavadas em água desionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingir massa constante, e moídas.

Para a coleta destas folhas foram desprezadas as linhas de bordadura em cada parcela, e também meio metro de cada extremidade das linhas onde as folhas foram coletadas. Foram avaliadas as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, cobre, manganês e zinco, conforme os métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

A concentração de nitrogênio foi determinada através de digestão sulfúrica com destilação em aparelho Kjeldahl. As concentrações de fósforo e enxofre foram determinadas por meio de digestão nítrico-perclórica, sendo a leitura de fósforo feita por colorimetria do metavanadato (fósforo total), e do enxofre por gravimetria do sulfato de bário. As concentrações de potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco foram determinadas por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.6 LEITURA DE CLOROFILA

O conteúdo de clorofila presente nas folhas de soja foi avaliado aos 65 dias após a semeadura, através de leitura no aparelho medidor de clorofila (clorofilômetro), marca Minolta, modelo SPAD-502, com o qual foram realizadas dez leituras nas quatro linhas centrais de cada parcela, tendo sido efetuada uma leitura por planta na folha central do terceiro trifólio a partir do ápice das plantas.

3.7 NODULAÇÃO E ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO

No início do florescimento da cultura, coletou-se um metro contínuo de plantas contendo raízes de cada parcela, à profundidade aproximada de 0-20 cm, com o auxílio de uma pá de corte. Para coleta destas plantas, desprezou-se as linhas laterais em cada parcela, como também meio metro em cada extremidade da linha onde as plantas foram coletadas. Essas amostras foram separadas em parte aérea e raízes, e após, foi determinado o número e a altura das plantas.

As raízes foram lavadas em água corrente e, após a remoção de todo o solo nelas aderido, os nódulos foram destacados e contados. Esses nódulos foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingir massa constante, sendo então avaliado a sua massa seca.

Aos 100 dias após a semeadura, coletou-se meio metro contínuo de plantas em cada parcela, na mesma linha onde foram retiradas as plantas para avaliação de nodulação. Essas amostras foram lavadas em água desionizada, separadas em folhas, hastes e vagens, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingir massa constante, e moídas. Foram avaliadas a produção de matéria seca e a concentração de nitrogênio, nas diferentes partes da planta, por meio de digestão sulfúrica e destilação em aparelho Kjeldahl.

3.8 PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Após a maturação da soja, foram colhidas as três linhas centrais por três metros de comprimento de cada parcela, tendo sido desprezado meio metro de cada extremidade. Para avaliação dos componentes de produção, foram coletadas, nessa época, dez plantas de cada parcela. Foram avaliados o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos.

A debulha foi feita em um debulhador estacionário, em seguida o material foi pesado e teve a sua umidade determinada e homogeneizada em 13%, para cálculo de rendimento de grãos.

3.9 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS

Para determinação da concentração de nitrogênio nos grãos, tomou-se uma amostra dos grãos colhidos em cada parcela, os quais foram moídos e submetidos à digestão sulfúrica com posterior destilação em aparelho Kjeldahl.

3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância e de regressão polinomial. Foram ajustadas equações aos dados obtidos em função das doses de cobalto, adotando-se como critério para a escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5%. Os efeitos da aplicação de molibdênio foram comparados pelo teste F. Na ausência de interação significativa entre os tratamentos de cobalto e de molibdênio sobre as variáveis estudadas, os efeitos principais das doses de cobalto e da aplicação de molibdênio foram discutidos separadamente, utilizando-se a média dos tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação das sementes ocorreu de maneira homogênea e as plantas apresentaram desenvolvimento normal durante todo o ciclo da cultura.

Os dados de precipitação pluvial e temperatura média do ar (Gráfico 1), ocorridos durante os meses em que se desenvolveu o experimento, mostraram que as condições foram favoráveis ao adequado desenvolvimento das plantas, nos diversos estágios de desenvolvimento.

É importante salientar que, nas parcelas onde foram aplicadas 4 e 8 g ha⁻¹ de cobalto, as primeiras folhas emitidas pelas plantas apresentaram coloração amarelada, causada por fitotoxicidade do cobalto. Nas parcelas em que foram utilizadas 8 g.ha⁻¹ de cobalto, a fitotoxicidade foi mais severa, caracterizada por clorose e necrose dos bordos das folhas primordiais.

A produtividade média de grãos alcançada foi de 3043 kg ha⁻¹, com uma densidade média de 220 mil plantas por hectare.

4.1 MOLIBDÊNIO

A aplicação de molibdênio não exerceu influência significativa sobre o número e a massa de nódulos, a leitura de clorofila, a produção de matéria seca, a absorção de nitrogênio e a altura das plantas de soja (Tabela 2). Os nódulos devem ter sido eficientes em fixar o nitrogênio atmosférico, possivelmente devido à liberação de molibdênio do solo em função da fraca acidez (Franco et al ., 1970, Nery et al ., 1976).

O solo utilizado neste estudo apresentava pH (CaCl₂) 5,3 (Tabela 1), não possuindo problemas com alumínio trocável e nem com deficiência de Ca, Mg, K e P. Em solos com a acidez corrigida, ocorre maior disponibilidade de molibdênio para a planta, em decorrência de maior concentração do nutriente na forma de MoO₄²⁻, forma dissociada do ácido molíbdico (Tiffin, 1972), que é a forma iônica mais absorvida pelas plantas (Gupta & Lipsett, 1981). Campo & Lantmann (1998) trabalhando com doses de molibdênio e calcário, em solo com primeiro cultivo de soja, demonstraram

que não houve interação significativa entre a calagem e doses de molibdênio, bem como não se verificou efeito positivo com a aplicação de doses de molibdênio sobre os resultados de nodulação (número e massa). Verificou-se apenas efeito significativo da aplicação de doses de calcário sobre a nodulação, onde todas as doses de calcário diferentes de zero apresentaram a mesma nodulação, sendo, no entanto, todas superiores à dose zero de calcário. Esses resultados concordam com os obtidos no presente trabalho, de que o molibdênio não afeta a nodulação da soja.

TABELA 2 – NÚMERO E MASSA DE NÓDULOS, LEITURA DE CLOROFILA, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E ALTURA DE PLANTAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

TRATAMENTOS	NÓDULOS ⁽¹⁾		CLOROFILA, LA ⁽²⁾	MATÉRIA SECA kg ha ⁻¹	ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO kg ha ⁻¹	ALTURA DE PLANTAS cm
	NÚMERO	MASSA g				
Sem Mo	1 086	4,2	52	7 545	175	62
Com Mo	936	4,2	51	7 785	191	65
Valor F	3,83ns	0,05ns	1,56ns	0,14ns	0,71ns	2,12ns
CV(%)	21,35	17,64	1,81	23,46	28,48	10,42

⁽¹⁾ Nódulos por metro linear de plantas.

⁽²⁾ Leitura do aparelho.

ns = não significativo.

O número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos, a produção de grãos e o teor de nitrogênio nos grãos, também não foram influenciados significativamente pela aplicação de molibdênio (Tabela 3). A ausência de resposta significativa dos tratamentos em que se utilizou molibdênio pode estar associada à adequada disponibilidade de molibdênio no solo em função das condições de acidez. Essa observação evidencia a importância do pH dos solos na disponibilidade de molibdênio necessário para o processo de fixação do nitrogênio

através da simbiose *Rhizobium* x leguminosas, refletido pelo maior ou menor teor de proteína na soja.

TABELA 3 – NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM, MASSA DE 100 GRÃOS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E TEOR DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

TRATAMENTOS	NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA	NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM	MASSA DE 100 GRÃOS g	PRODUÇÃO DE GRÃOS kg ha ⁻¹	TEOR DE N GRÃOS g kg ⁻¹
Sem Mo	39	2,03	20,56	3 015	60
Com Mo	40	2,06	20,77	3 072	61
Valor F	0,63ns	0,61ns	0,34ns	0,71ns	0,43ns
CV(%)	12,12	5,21	4,86	6,28	3,58

ns = não significativo.

Respostas positivas da aplicação de molibdênio sobre a produção da soja têm sido observadas em vários trabalhos. Lantmann et al. (1983, 1984), usando doses de 4,5 e 9,0 g ha⁻¹ de molibdênio, obtiveram aumentos na produtividade de soja em vários solos do Paraná. Lantmann et al. (1989) observaram que a resposta da soja à adição de molibdênio (30 g ha⁻¹) esteve intimamente relacionada com o pH do solo, sendo as maiores respostas obtidas em condições de baixo pH em CaCl₂, com aumentos de até 22,7% na produção de grãos e de até 8,5% no teor de proteínas nos grãos. No entanto, outros autores (Bellintani Neto & Lam-Sánchez, 1974; e Mascarenhas et al., 1967, 1973) não obtiveram resposta na produção de soja com a aplicação de molibdênio, provavelmente devido à boa disponibilidade e suprimento adequado deste micronutriente às plantas.

Quaggio et al. (1998) verificaram que na ausência de molibdênio, a produção máxima de soja foi obtida quando a saturação por bases foi elevada ao redor de 70% com a calagem, o que confirma trabalhos anteriores com a cultura (Quaggio et al., 1982, & Gallo et al., 1986). Entretanto, a aplicação de molibdênio reduziu a

resposta da soja à calagem, o que concorda com os resultados de Lantmann et al. (1985), Burmester et al. (1988) e Adams et al. (1990). Por outro lado, a calagem também reduziu a resposta da soja às doses de molibdênio. Com valores de saturação por bases ao redor de 25%, a resposta média da soja ao molibdênio foi praticamente linear até a dose de 100 g ha⁻¹ de molibdênio, com acréscimos de produção de grãos da ordem de 700 kg ha⁻¹, que foram reduzidos para 300 kg ha⁻¹, quando a saturação por bases foi elevada ao redor de 45% pela calagem. Essas respostas são coerentes com os valores encontrados por Quaggio et al. (1988) que recalcularam os dados de Sedberry Júnior et al. (1973), demonstrando que a resposta da soja ao molibdênio é altamente dependente de valores de pH. Portanto, para se obter produtividades elevadas de soja na ausência de molibdênio, é necessário elevar a saturação por bases para cerca de 70%. Contudo, esse valor poderia ser reduzido até próximo a 50%, sendo necessário aplicar cerca de 50 g ha⁻¹ de molibdênio, para manter a mesma produtividade (Quaggio et al., 1998). Entretanto, no presente trabalho não foi observada resposta da soja ao molibdênio aplicado em solo com saturação por bases de 48%. A resposta da soja à aplicação de molibdênio tem sido da ordem de 600 kg ha⁻¹ e mais expressiva em solos ácidos e deficientes no nutriente (Sedberry Junior et al., 1973; Lantmann et al., 1985, e Santos, 1991).

A aplicação de molibdênio nas sementes não exerceu efeito significativo sobre os teores de nutrientes nas folhas de soja, com exceção do ferro (Tabela 4), cujo teor foliar foi reduzido com a aplicação de molibdênio, na forma de molibdato de sódio. Cabe ressaltar que esse efeito ocorreu em pequena magnitude e que os teores de ferro nas folhas se mantiveram em níveis considerados normais para a cultura (Ohlrogge, 1960). Quaggio et al. (1998) não observaram alterações nas concentrações de ferro nas folhas de soja com a aplicação de doses de molibdênio nas sementes (0, 50 e 100 g ha⁻¹ de molibdênio), na forma de molibdato de amônio. Apesar da pequena quantidade de molibdato de sódio aplicada nas sementes, é possível que a absorção de ferro pelas plantas, no presente trabalho, tenha sido prejudicada pela presença do sódio. De qualquer forma, esse efeito necessita ser mais bem investigado. Destaca-se que a

aplicação de molibdênio não influenciou a concentração de nitrogênio nas folhas de soja, o que está de acordo com os resultados obtidos por Tanaka et al. (1993).

TABELA 4 – CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn
Sem Mo	48,3	3,6	20,5	8,4	3,3	2,5	14,5	100,6	18,3
Com Mo	47,4	3,4	21,2	8,4	3,3	2,4	15,1	87,4	19,2
Valor F	0,18ns	2,01ns	2,64ns	0,04ns	0,01ns	0,24ns	0,22ns	8,35**	0,96ns
CV(%)	12,42	9,19	5,83	9,76	11,40	20,77	12,69	13,95	14,40

ns = não significativo.

** = significativo ao nível de 1%.

4.2 COBALTO

Os resultados de nodulação (número e massa de nódulos), leitura de clorofila, produção de matéria seca, absorção de nitrogênio e altura de plantas de soja, em função da aplicação de doses de cobalto, são mostrados na Tabela 5.

Os resultados de número e massa de nódulos mostraram que não houve efeito significativo da aplicação de doses de cobalto sobre a nodulação da soja. Além da aplicação de cobalto não apresentar efeito significativo sobre a nodulação da soja, a utilização de 8 g ha⁻¹ do elemento causou fitotoxicidade nas plantas emergidas, caracterizada por clorose e necrose dos bordos das folhas primordiais, como mostra a Figura 1. Ahmed & Evans (1960) obtiveram efeito positivo da aplicação de cobalto na nodulação da soja, o que não aconteceu no presente trabalho. Em outras culturas, como a ervilha e o amendoim, foi demonstrado que a aplicação de cobalto aumentou o número de nódulos e a fixação simbiótica do nitrogênio (Raj, 1987).

A produção de matéria seca e a absorção de nitrogênio, não foram influenciadas significativamente pela aplicação de doses de cobalto. Mesmo assim, é possível que o cobalto tenha influenciado o processo de fixação biológica do N_2 , em doses mais baixas, entre 0 e 2 g ha⁻¹.

A altura das plantas de soja apresentou redução linear significativa com a aplicação de doses de cobalto. A equação de regressão ajustada ($Y = 66,99 - 1,01 x$, $R^2 = 0,91$) mostrou um decréscimo de cerca de 1 cm na altura das plantas para cada grama de cobalto aplicado. A redução no crescimento da soja foi nítida em doses superiores a 2 g ha⁻¹ de cobalto, certamente devido a fitotoxicidade do elemento. Nemeč & Babicka, Brenchley, Millikan, Vergnano & Hunter e Ahmed & Twyman citados por Malavolta (1976) observaram que quantidades de cobalto na solução nutritiva tão baixas quanto 0,1 mg kg⁻¹ podem produzir efeitos adversos no crescimento de diversas culturas, provocando diminuição no crescimento das plantas.

TABELA 5 – NÚMERO E MASSA DE NÓDULOS, LEITURA DE CLOROFILA, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO E ALTURA DE PLANTAS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

DOSES DE COBALTO	NÓDULOS ⁽¹⁾		CLOROFILA, LA ⁽²⁾	MATÉRIA SECA	ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO	ALTURA DE PLANTAS
	NÚMERO	MASSA				
g ha ⁻¹		g		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	cm
0	974	4,2	51	7 571	167	66
2	1 199	4,6	52	8 048	200	66
4	840	3,8	51	7 792	194	63
8	1 030	4,3	52	7 268	171	58
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	L*
CV(%)	19,24	17,58	2,05	23,38	28,39	9,51

⁽¹⁾ = Nódulos por metro linear de plantas.

⁽²⁾ = Leitura do aparelho.

L = Efeito linear por regressão polinomial.

ns = não significativo.

* = significativo ao nível de 5%.

FIGURA 1 – PLANTAS DE SOJA APRESENTANDO SINTOMAS DE FITOTOXICIDADE DE COBALTO, CARACTERIZADOS VISUALMENTE POR CLOROSE E NECROSE DOS BORDOS DAS FOLHAS, AOS 12 DIAS APÓS A SEMEADURA. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000



→ 2 g ha⁻¹ de cobalto

→ 8 g ha⁻¹ de cobalto

O número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de 100 grãos e o teor de nitrogênio nos grãos (Tabela 6) não foram influenciados significativamente pela aplicação de doses de cobalto. A produção de grãos de soja foi significativamente reduzida em função das doses de cobalto aplicadas, sendo o efeito linear ($Y = 3206,33 - 46,75x$, $R^2 = 0,87$). De acordo com a equação de regressão ajustada, houve uma redução de cerca de 12% na produção de grãos, com a maior dose

de cobalto aplicada (8 g ha^{-1}). Isto deve ter ocorrido por efeito fitotóxico do cobalto, conforme caracterizado visualmente por clorose e necrose dos bordos das folhas, aos 12 dias após a semeadura (Figura 1).

TABELA 6 – NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA, NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM, MASSA DE 100 GRÃOS, PRODUÇÃO DE GRÃOS E TEOR DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS DE SOJA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

DOSES DE COBALTO g ha^{-1}	NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA	NÚMERO DE GRÃOS POR VAGEM	MASSA DE 100 GRÃOS g	PRODUÇÃO DE GRÃOS kg ha^{-1}	TEOR DE N GRÃOS g kg^{-1}
0	41	2,01	20,62	3 138	60
2	40	2,07	20,51	3 182	61
4	39	2,02	20,86	3 052	60
8	38	2,09	20,67	2 799	61
Efeito	ns	ns	ns	L**	ns
CV(%)	11,06	4,59	4,56	6,78	3,69

L = Efeito linear por regressão polinomial.

ns = não significativo.

** = significativo ao nível de 1%.

As concentrações de nutrientes nas folhas de soja em função da aplicação de doses de cobalto, estão apresentadas na Tabela 7. As doses de cobalto aplicadas não influenciaram significativamente os teores foliares dos nutrientes, com exceção do zinco. Os teores de zinco nas folhas foram reduzidos linearmente com a aplicação das doses de cobalto ($Y = 19,90 - 0,32x$, $R^2 = 0,45$). Apesar dos teores de ferro nas folhas não terem sido influenciados significativamente pela aplicação de doses de cobalto, parece claro que com o aumento da dose de cobalto pode ocorrer redução na assimilação de ferro pelas plantas de soja, conforme observado por Hewitt (1953).

Esses resultados mostraram que a redução na produção de grãos de soja com a aplicação de doses de cobalto (Tabela 6) pode ter sido ocasionada pelo efeito do cobalto na redução dos teores de zinco nas folhas (Tabela 7). Cabe ressaltar que nas maiores doses de cobalto (4 e 8 g ha^{-1}), os níveis de zinco encontraram-se na faixa de

teores baixos para a cultura da soja (11-20 mg kg⁻¹). Os teores de zinco considerados adequados para a soja encontram-se entre 20 e 50 mg kg⁻¹ (Ohlrogge, 1960).

TABELA 7 – CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

DOSES DE COBALTO g ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
0	48,4	3,6	20,8	8,5	3,3	2,6	15,6	102,5	19,3
2	48,1	3,6	21,5	8,5	3,3	2,5	15,3	98,3	20,9
4	43,7	3,4	20,4	8,5	3,3	2,1	13,6	84,9	17,5
8	51,3	3,5	20,8	8,1	3,1	2,6	15,1	89,9	17,5
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	L*
CV(%)	12,28	8,48	6,13	10,83	12,62	20,37	12,04	15,22	11,69

L = Efeito linear por regressão polinomial.

ns = não significativo.

* = significativo ao nível de 5%.

Os teores de manganês nas folhas de soja foram influenciados significativamente pela interação entre a aplicação de cobalto e molibdênio (Tabela 8). A aplicação de doses de cobalto aumentou os teores foliares de manganês somente na ausência de molibdênio ($Y = 59,50 + 0,64x$, $R^2 = 0,32$). Na maior dose de cobalto (8 g ha⁻¹), a aplicação de molibdênio prejudicou a absorção de manganês pela soja. Este fato pode estar relacionado à utilização de molibdato de sódio, como fonte de molibdênio, considerando que o sódio pode interferir na assimilação do manganês Brady (1983). Por outro lado, Hewitt, (1953) concluiu que o efeito de toxidez de cobalto desenvolve inicialmente uma sintomatologia característica de deficiência de manganês conforme também observado no presente trabalho (Figura 2).

TABELA 8 – CONCENTRAÇÕES DE MANGANÊS NAS FOLHAS DE SOJA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS DE COBALTO E MOLIBDÊNIO. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000

DOSES DE COBALTO	Mn		VALOR F
	Sem Mo	Com Mo	
g ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		
0	59,25	60,00	0,12 ns
2	64,00	62,75	0,34 ns
4	57,75	60,75	1,94 ns
8	66,00	58,75	11,34**
Efeito	L*	ns	
CV(%)	4,09	5,98	

L = Efeito linear por regressão polinomial.

ns = não significativo.

* = significativo ao nível de 5%.

** = significativo ao nível de 1%.

FIGURA 2 - EFEITO DE TOXIDEZ DO COBALTO EM SOJA, APRESENTANDO SINTOMA SEMELHANTE À DEFICIÊNCIA DE MANGANÊS. PONTA GROSSA – PR, 1999/2000



5 CONCLUSÕES

5.1 A aplicação de molibdênio nas sementes não influenciou a nodulação, a absorção de nitrogênio e a produção de grãos de soja, demonstrando que a sua utilização é desnecessária em solo com acidez corrigida.

5.2 A utilização de molibdato de sódio nas sementes, como fonte de molibdênio, causa redução na concentração de ferro nas folhas de soja.

5.3 A aplicação de cobalto nas sementes, na forma de sulfato de cobalto, não exerce efeito sobre a nodulação e a absorção de nitrogênio pela soja.

5.4 A aplicação de doses de cobalto reduziu linearmente a produção de grãos de soja, mostrando que doses superiores a 2 g ha^{-1} de cobalto, aplicadas nas sementes, na forma de sulfato de cobalto, são fitotóxicas para a cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. F.; BURMESTER, C. H. & MITCHELL, C. C. Long term fertility treatments and molybdenum availability. **Fertilizer Research**, Netherlands, v. 21, p. 167-170, 1990.
- ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York, Springer Verlag, 1986. 533p.
- AHMED, S. & EVANS, H. J. Effect of cobalt on the growth of soybeans in the absence of supplied nitrogen. **Biochem. Biophys. Res. Commun.**, New York, v. 1, p. 271-275, 1959.
- AHMED, S. & EVANS, H. J. Cobalt: A micronutrient element or the growth of soybean plants under symbiotic conditions. **Soil Science**, Baltimore, v. 90, p. 205-210, 1960.
- AUBERT, H. & PINTA, M. Trace elements in soils. In: **Developments in soil science**. New York, Elsevier, v. 7, 1977. 395p.
- BARROW, N. J. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 109, p. 282-288, 1970.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. & VALADARES, J. M. A. S. O molibdênio em solos do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1975, Campinas. **Anais**, Campinas, Sociedade brasileira de Ciência do Solo, p. 107-117, 1975.
- BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H. A. A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Boletim Técnico, 41., Campinas. Instituto Agrônomo, 1977. 36p.
- BEESON, K. C.; GRAY, L. & ADAMS, M. B. The absorption of mineral elements by forage plants. In: The phosphorus, cobalt, manganese and copper content of some common grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 39, p. 356-362, 1947.
- BELLINTANI NETO, A. M. & LAM-SÁNCHEZ, A. Efeito de molibdênio sobre a nodulação e produção de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 1, p. 13-17, 1974.
- BERTRAND, D. & WOLF, A. Nickel and cobalt in the root nodules of legumes **Bull. Society Chemical Biology**, v. 36, p. 905-906, 1954.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, p. 521-522, 1983.

BURMESTER, C. H.; ADAMS, J. F. & ODOM, J. W. Response of soybean to liming and molybdenum on Udisols in Northern Alabama. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 52, p. 1391-1394, 1988.

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

COMHAIRE, M. Cobalt for living beings. 1st part: cobalt for animals. **AGRI Digest**, v. 11, p. 12-31, 1967.

COODETEC. **Guia técnico de cultivares de soja**. Cascavel, 1999.

DAVIES, E. B. Factors affecting molybdenum availability in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 81, p. 209-221, 1956.

DELWICHE, C. C.; JOHNSON, C. N. & REISENAUER, H. M. Influence of cobalt on nitrogen fixation by Medicago. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 36, p. 73-78, 1961.

DE MOOY, C. J.; PESEK, J. & SPALDON, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B. E. ed. Soybeans: improvement, production and uses. **American Society of Agronomy** Madison, p. 267-334, 1973.

EKMAN, P.; KARLSSON, N. & SVABERG, O. Investigations concerning the cobalt problem in Swedish animal husbandry. **Acta Agr. Scand.**, v. 2, p. 103-130, 1952.

ELLIS, B. G.; KNEZEK, B. D.; JACOBS, L. W. The movement of micronutrients in soils. In: NELSON, D. W., ed. **Chemical mobility and reactivity in soil system**. Soil Science Society of America, Madison, p. 109-122, 1983.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1998/99**. Londrina: CNPSoja. 1998a. 201 p. (Documentos, 119)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região Central do Brasil, 1998/99**. Londrina: CNPSoja. 1998b. 182 p. (Documentos, 120)

FRANCO, A. A.; DAY, J. M. Effects of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in acid soils of Brasil. **Turrialba**, San José, v. 30, n.1, p. 99-105, 1980.

FUJIMOTO, C. & SHERMAN, C. D.; Cobalt content of typical soils and plants of the Hawaiian Islands. **Agronomy Journal**, Madison, v. 42, p. 577-581, 1950.

FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C. & VALADARES, J. M. A. S. Cobalto em solos do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, p. 65-67, 1977.

GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A.; QUAGGIO, J. A. & BATAGLIA, O. C. Resposta diferencial de soja e sorgo à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 253-258, 1986.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 117-120, 1991.

GUPTA, U. C. & LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 73-115, 1981.

GUPTA, U. C. & MUNRO, D. C. Influence of sulfur, molybdenum and phosphorus on chemical composition and yields of Brussels sprouts and of molybdenum on sulfur contents of several plant species grown in the greenhouse. **Soil Science**, Baltimore, v. 10, p. 114-118, 1969.

GURLEY, W. H. & GIDDENS, S. Factors affecting uptake, yield response and carryover molybdenum in soybean seed. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 7-9, 1969.

GUSTAFSON, F. G. & SCHLESSINGER, M. J. Absorption of cobalt by bean plants in the dark. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 31, p. 316-318, 1956.

HEWITT, E. J. Metal interrelationships in plant nutrition. I: Effects of some metal toxicities on sugar beet, tomato, oat, potato and marrowstem kale grown in sand culture. **Journal Exper. Botany**, v. 4, p. 59-64, 1953.

HODGSON, J. F. Micronutrients in soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 15, p. 119-154, 1963.

HOROWITZ, A. Os íons do molibdênio no solo- um exemplo da aplicação dos diagramas Eh-pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 98-103, 1978.

IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 49 p.

JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O. S.; ALDAR, H.; VIEIRA, C. Ensaio preliminares sobre aplicação de molibdênio e de cobalto na cultura de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 628-633, 1977.

KLIEVER, M. & EVANS, H. J. Cobamide coenzyme contents of soybean nodules and nitrogen fixing bacteria in relation to physiological conditions. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 38, p. 99-104, 1963.

KOLLING, J.; SCHOLLES, D. & BROSE, A. Efeito do molibdênio aplicado em diferentes formulações sobre a nodulação e rendimento de grãos de soja. **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v. 17, p. 239-248, 1981.

LAM-SÁNCHEZ, A. & AWAD, M. Efeito da simazina e do molibdênio no rendimento, conteúdo protéico e nodulação da soja e da simazina no rendimento e conteúdo protéico do feijoeiro. **Cientifica**, Jaboticabal, v. 4, p. 56-58, 1976.

LANTMANN, A. F.; CAMPO, R. J.; SFREDO, G. J. & BORKERT, C. M. **Micronutrientes para a cultura da soja no Estado do Paraná: zinco e molibdênio**. Londrina, EMBRAPA/CNPSoja, 1985. 8 p. (Comunicado técnico, 34)

LANTMANN, A. F.; PALHANO, J. B. & CAMPO, R. J. Efeito da aplicação de micronutrientes na produção de soja. In: EMBRAPA- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Resultados de pesquisa de soja 1982/83**. Londrina, CNPSo, p. 43-45, 1983.

LANTMANN, A. F.; PALHANO, J. B. & CAMPO, R. J.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J. & BARRETO, J. N. Efeito da aplicação de micronutrientes na produção de soja em Campo Mourão, Ponta Grossa e Londrina, PR. In: EMBRAPA-CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Resultados de pesquisa de soja 1983/84**. Londrina, CNPSo, p. 61-63, 1984.

LANTMANN, A. F.; SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Resposta da soja a molibdênio em diferentes níveis de pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 45-49, 1989.

LAZAR, V. A. & BEESON, K. C. Mineral nutrients in native vegetation on Atlantic coastal plain types. **Journal Agronomy Food Chemical**, v. 4, p. 439-444, 1956.

LEEPER, G. W. **Six trace elements in soils**. Melbourne, Melbourne University Press, p. 53-59, 1970.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, p. 465-469, 1976.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Eds.). Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies: Micronutrients in agriculture. 2. ed. **Science Society of America** Madison, p. 549-592, 1991.

MASCARENHAS, H. A. A.; KIIHL, R. A. S.; NAGAI, V. & BATAGLIA, O. C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de cerrado. **O Agrônomo**, Campinas, v. 25, p. 71-73, 1973.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S. & IGUE, T. Adubação da soja: VI Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo) em solo com vegetação de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 26, p. 373-379, 1967.

MASCARENHAS, H. A. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; NAGAI, V.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A. A calagem nos teores de óleo e de proteína em soja. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 1, p. 171-182, 1990.

MAYNARD, A. M. & LOOSLI, J. K. **Nutrição animal**. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1966. 550 p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 3. ed. Bern, International Potash Institute, 1982. 655 p.

MILLER, C. O. The influence of cobalt and sugars upon the elongation of etiolated pea stem segments. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 29, p. 79-82, 1954.

NERY, M.; PERES, J. R. R.; DOBEREINER, J. Efeito de micronutrientes na forma de FTE na produção de leguminosas forrageiras e na fixação de N₂. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1975, Campinas, **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 157-162, 1976.

NICHOLAS, D. J. D. & THOMAS, W. D. E. Some effects of heavy metals on plants grown in soil culture. Part I: The effect of cobalt on fertilizer and soil phosphate uptakes and the ion and cobalt status of tomato. **Plant and Soil**, Hague, v. 5, p. 67-80, 1953.

OHLROGGE, A. J. Mineral nutrition of soybeans. **Advances in Agronomy**, New York, v. 12, p. 229-263, 1960.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, New York, v. 30, p. 1-50, 1978.

PARKER, M. B. & HARRIS, H. B. Yield and leaf nitrogen of nodulating and non-nodulating soybeans as affected by nitrogen and molybdenum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 551-554, 1977.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 38 p. (Circular, 76)

PETERSON, N. K. & PURVIS, E. R. Development of molybdenum deficiency symptoms in certain crop plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 25, p. 111-117, 1961.

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; FURLANI, A. M. C. & MASCARENHAS, H. A. A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 337-344, 1998.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A. & BATAGLIA, O. C. Respostas da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em solo de cerrado. II Efeito residual. **Revista brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 6, p. 113-118, 1982.

QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. & BERTON, R. S. Culturas oleaginosas. In: FERREIRA, M. E. & CRUZ, M. C. P., eds. **SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA**. Piracicaba, 1988. **Anais**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, p. 443-484, 1988.

RAJ, A. S. Cobalt nutrition of pigeonpea and peanut in relation to growth and yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, p. 2137-2145, 1987.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.

REISENAUER, H. M. **Cobalt in nitrogen fixation by a legume**. *Nature*, v. 186, p. 375-376, 1960.

SANTOS, O. S. Molibdênio. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (ed.) **micronutrientes na agricultura**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, p. 191-217, 1991.

SANTOS, O. S. Micronutrientes na cultura da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba n. 85, p. 1-8, 1999.

SANTOS, O. S.; CAMARGO, R. P.; RAUPP, C. R. Efeitos de dosagens de molibdênio, cobalto, zinco e boro, aplicados nas sementes, sobre características agronômicas da soja. 5 ano. In: **Contribuição do Centro de Ciências Rurais à XII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria/FATEC, p. 6-10, 1984.

SANTOS, O. S.; ESTEFANEL, V.; CAMARGO, R. P. Exportação de nutrientes por cultivares de soja. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, n. 38, p. 7-10, 1986.

SEDBERRY JÚNIOR, J. E.; DHARMADUTRA, T. S.; BRUPBACKER, R. H.; PHILLIPS, S. A.; MARSHALL, J. G.; SLOANE, L. W.; MELVILLE, D. R. & RABB, J. L. **Molybdenum investigation with soybeans in Louisiana**. Louisiana, Louisiana State University, 1973. 39 p. (Bulletin, 670)

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C. de. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. **Anais**. Viçosa: UFV, v. 5, p. 1216-1218, 1995.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F.; MEYER, M. C.; MANDARINO, J. M. G. & OLIVEIRA, M. C. N. **Molibdênio e cobalto na cultura da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997 (Circular Técnica, 16).

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L. & OLIVEIRA, M. C. N. de. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 41-45, 1997.

SINHA, M. K. Organo-metallic phosphates. I. Interaction of phosphorus compounds with hmic substances. **Plant and Soil**, Hague, v. 35, p. 471-481, 1971.

SMITH, E. L. **Presence of cobalt in the anti-pernicious anemia factor**. Nature, p. 144-145, 1948.

STOUT, P.R.; MEAGHER, W. R.; PEARSON, G. A. & JOHNSON, C. M. Molybdenum nutrition of crop plants. I. The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures. **Plant and Soil**, Hague, v. 3, p. 51-87, 1951.

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

TIFFIN, L. O. Translocation of micronutrients in plants. In: MORTVEDET, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Eds). **Micronutrients in agriculture: Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn.** Soil Science, Madison, p. 199-229, 1972.

VANSELOW, A. P. Cobalt. In: Chapman, H. D. **Diagnostic criteria for plants and soils.** University of California, 1966. 142 p.

VIDOR, C. & PERES, J. R. R. Nutrição de plantas com molibdênio e cobalto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1986, Londrina. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. **Anais**, Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, p. 179-203, 1988.

WRIGHT, J. R. & LAWTON, K. Cobalt investigations on some Nova Scotia soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 77, p. 95-105, 1954.