

**Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P.Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**

**JADIR BORGES PINHEIRO**

**2007**

**JADIR BORGES PINHEIRO**

**MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow  
& P. Sydow) COM NUTRIENTES E FUNGICIDAS E A  
INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL NA DISTRIBUIÇÃO  
ESPACIAL E REPRODUÇÃO DO NEMATÓIDE DO CISTO DA  
SOJA (*Heterodera glycines* Ichinohe)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Pinheiro, Jadir B.

Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe) / Jadir Borges Pinheiro. -- Lavras : UFLA, 2007.

175 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Geoestatística. 3. Cálculo. 4. Potássio. 5. Silício. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.349425

**JADIR BORGES PINHEIRO**

**MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) COM NUTRIENTES E FUNGICIDAS E A INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E REPRODUÇÃO DO NEMATÓIDE DO CISTO DA SOJA (*Heterodera glycines* Ichinohe)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 17 de abril de 2007

Profa. Dra. Maria Amelia dos Santos	UFU
Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho	UFLA
Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende	UFLA
Prof. Dr. Vicente Paulo Campos	UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

A 'minha vida' e aos meus pais, que estão unidos há 52 anos, pelo amor, carinho, dedicação, humildade e por sempre compreenderem o verdadeiro sentido da minha caminhada.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo e pela saúde para poder chegar até aqui.

À Universidade Federal de Lavras, por meio do Departamento de Fitopatologia (DFP), pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao Prof. Edson Ampélio Pozza, pela orientação e apoio, durante esses 4 anos de convívio.

Ao Prof. Vicente Paulo Campos, pela concessão do laboratório e ao laboratorista Tarlei, pela amizade e ajuda na execução das análises nematológicas.

À Profa. Janice Guedes de Carvalho por me receber sempre de braços abertos no Departamento de Ciência do Solo (DCS).

À pesquisadora Adélia Pozza, pelas sugestões e apoio nos trabalhos.

Ao Adalberto, pela competência e auxílio nas análises nutricionais.

À Profa. Maria Amelia dos Santos (UFU), por ser a grande incentivadora dos meus primeiros trabalhos em Fitopatologia – Nematologia, em 1996.

Ao bolsista Alécio pela amizade e pelo apoio em todos os trabalhos.

À Renata Kelly (Secretária de Pós), pela amizade e por sempre me ajudar nas horas em que mais precisei.

Aos técnicos do DFP: Sidnei, Vladimir, Carla (Ijaci), Eliane e Rute, e aos estudantes Eudes e Thiago, não só pela ajuda nos trabalhos, mas pela amizade e conversas diárias.

À Fazenda Muro de Pedra, Araxá, MG, pela concessão das lavouras de soja para a realização dos experimentos com a ferrugem da soja. Em especial ao

meu cunhado, Lázaro Montandon (Zizinho), proprietário e ao meu sobrinho, Lucas Montandon, pela ajuda na execução dos trabalhos.

À Agropecuária Marataí S/A (Uberlândia, MG), pela concessão da área, para a realização dos trabalhos com o NCS.

À Profa. Ângela Maria Soares, do Departamento de Biologia (DBI) e ao estudante de doutorado João Paulo, pelo auxílio nas análises de fotossíntese.

Ao Marcelo (Rubão), pelo companheirismo e auxílio nas análises de geoestatística.

A minha irmã, Carla, pela proteção e amor durante toda a minha caminhada.

Aos demais irmãos Ana, Aida, Aureliza, Patrícia, Isaura, Jader, João Carlos e Paulinho, pela torcida.

Ao João Carlos, pela grande amizade, companheirismo e por acreditar em mim.

Ao casal Deila e César e seus filhos Plínio e Áurea, pela amizade, paciência, desabafos e alegria. Em especial a Deila, por tudo que fez por mim durante estes quatro anos de sincera amizade.

Aos casais Fernando Rocha & Silvania e Luciana & Marcos, pela amizade durante o doutorado.

Aos amigos do Núcleo de Estudos em Fitopatologia (NEFIT): Ângelo Daniel, Fernanda, Flávio, Pedro, Regiane e Ricardo, pelo convívio durante os 3 anos de gestão. Em especial, a grande amiga Dejânia, pelo companheirismo do dia-a-dia e pela garra e luta diária na realização de todos os simpósios.

À Dona Ivone, Rosângela e Marli, responsáveis pela limpeza do DFP, pela amizade e pelo carinho durante esses anos.

Aos demais colegas de Departamento: Eloisa Leite, Eloisa (Biotita), Ângela, Ana, Alessandra Nakasoni, Simoni, Juliana, Ellen, Amanda e Dagma.

À todos, meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
<b>CAPÍTULO 1: Manejo da ferrugem da soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sydow &amp; P. Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (<i>Heterodera glycines</i> Ichinohe).....</b>	<b>1</b>
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 Fungicidas no controle da ferrugem da soja.....	6
2.2 Nutrição mineral.....	7
2.2.1 Potássio (K).....	8
2.2.2 Cálcio (Ca).....	11
2.2.3 Silício (Si).....	13
2.2.3.1 Essencialidade e acúmulo.....	13
2.2.3.2 Absorção, transporte e redistribuição.....	14
2.2.3.3 Silício no controle de doenças de plantas.....	14
2.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	16
2.3.1 Geoestatística.....	18
2.3.1.1 Semivariogramas.....	18
2.3.1.2 Os modelos.....	20
2.3.1.3 Krigagem.....	20
2.3.2 A geoestatística na nematologia.....	21
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23



<b>CAPÍTULO 2: Intensidade da ferrugem da soja em função de doses de potássio e cálcio em solução nutritiva.....</b>	<b>32</b>
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	34
1 INTRODUÇÃO.....	35
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1 Manutenção do inóculo.....	37
2.2 Produção das plantas de soja e solução nutritiva.....	37
2.3 Delineamento experimental.....	39
2.4 Inoculação do patógeno.....	39
2.5 Avaliação da doença.....	39
2.6 Matéria seca e análise nutricional das plantas.....	40
2.7 Fotossíntese potencial.....	40
2.8 Análise estatística.....	41
2.9 Temperatura e umidade relativa do ar.....	41
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1 Severidade.....	42
3.2 Fotossíntese potencial.....	47
3.3 Características agronômicas.....	49
3.3.1 Matéria seca das raízes, caule e folhas.....	49
3.4 Variáveis nutricionais.....	50
3.4.1 Cálcio (Ca).....	50
3.4.2 Potássio (K).....	53
3.5 Dados climáticos.....	55
4 CONCLUSÕES.....	57
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
<b>CAPÍTULO 3: Manejo da ferrugem da soja com fungicidas e silício.....</b>	<b>61</b>

RESUMO.....	62
ABSTRACT.....	63
1 INTRODUÇÃO.....	64
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1 Instalação e condução dos ensaios.....	66
2.1.1 Experimento 1.....	67
2.1.2 Experimento 2.....	68
2.2 Avaliação da doença.....	69
2.3 Cálculo da taxa e plotagem da curva de progresso.....	70
2.4 Avaliação da produção.....	70
2.5 Análise estatística.....	70
2.5.1 Experimento 1.....	70
2.5.2 Experimento 2.....	71
2.6 Dados climáticos.....	71
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
3.1 Experimento 1.....	72
3.1.1 Incidência.....	72
3.1.2 Severidade.....	77
3.1.3 Produção .....	83
3.2 Experimento 2 .....	85
3.2.1 Incidência.....	85
3.2.2 Severidade.....	89
3.2.3 Produção .....	96
3.3 Dados climáticos.....	96
4 CONCLUSÕES.....	98
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
<b>CAPÍTULO 4: Influência da nutrição com potássio e cálcio na reprodução do nematóide do cisto da soja.....</b>	<b>102</b>

RESUMO.....	103
ABSTRACT.....	104
1 INTRODUÇÃO.....	105
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	107
2.1 Obtenção do inóculo de <i>H. glycines</i> .....	107
2.2 Instalação e condução do ensaio.....	107
2.2.1 Delineamento experimental.....	108
2.3 Quantificação do NCS.....	108
2.3.1 Extração de cistos e ovos por cisto de <i>H. glycines</i> .....	108
2.3.2 Avaliação de fêmeas e cistos no sistema radicular e ovos por fêmea de <i>H. glycines</i> .....	109
2.3.3 Fator de reprodução.....	109
2.4 Variáveis agronômicas.....	109
2.4.1 Área foliar total.....	110
2.5 Matéria seca e análise nutricional das plantas.....	110
2.6 Análise estatística.....	110
2.7 Temperatura e umidade relativa do ar.....	111
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	112
3.1 Avaliação da reprodução do NCS.....	112
3.2 Variáveis agronômicas.....	117
3.3 Variáveis nutricionais.....	120
3.3.1 Cálcio (Ca).....	120
3.3.2. Potássio (K).....	122
3.4 Dados climáticos.....	123
4 CONCLUSÕES.....	133
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
<b>CAPÍTULO 5: Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide do cisto da soja.....</b>	<b>137</b>

RESUMO.....	138
ABSTRACT.....	139
1 INTRODUÇÃO.....	140
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	142
2.1 Localização do experimento.....	142
2.2 Seleção da área .....	142
2.3 Pontos amostrais e coleta.....	142
2.4 Quantificação do NCS.....	143
2.4.1 Juvenis de 2º estágio.....	143
2.4.2 Extração de cistos e ovos por cisto de <i>H. glycines</i> .....	143
2.5 Análises de fertilidade.....	144
2.6 Análise geoestatística.....	144
2.7 Dados climáticos.....	144
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	145
3.1 Juvenis de 2º estágio, cistos viáveis e não viáveis e ovos por cisto de <i>H. glycines</i> .....	145
3.2 Teores de cálcio, potássio e pH do solo.....	150
3.3 Correlações.....	152
3.4 Dados climáticos.....	156
4 CONCLUSÕES.....	158
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	162
ANEXOS.....	164

## RESUMO

PINHEIRO, J.B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Tese – Doutorado em Fitopatologia)\*

O manejo da ferrugem da soja com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e na reprodução do NCS foram estudados em cinco experimentos. No primeiro experimento realizado em casa-de-vegetação, objetivou-se avaliar a intensidade da ferrugem asiática em plantas de soja, em função de diferentes doses de potássio (4, 5, 6, 7, 8 mmol/L<sup>-1</sup>) e cálcio (3, 5, 7, 9, 11 mmol/L<sup>-1</sup>) aplicadas em solução nutritiva. O segundo experimento, conduzido em campo, teve como objetivo avaliar a associação de fungicidas sistêmicos e protetores com silício na redução da intensidade da ferrugem da soja. Os seguintes tratamentos foram avaliados: 1-testemunha; 2-silicato de sódio; 3-silicato de cálcio; 4-chlorothalonil; 5-chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações); 6-chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações); 7-pyraclostrobin + epoxiconazole; 8-pyraclostrobin + epoxiconazole + cloreto de potássio (KCl) e 9-pyraclostrobin + epoxiconazole + chlorothalonil. No terceiro experimento, conduzido em campo, o objetivo foi investigar o efeito do número de aplicações (1, 2, 3 e 4) e doses de 25, 50 e 100 % da dosagem do p.c. de chlorothalonil na intensidade da ferrugem da soja. O quarto experimento, realizado em casa-de-vegetação, visou avaliar a reprodução do NCS em plantas de soja, em função de diferentes doses de K (0, 150, 300, 450, 600 mg dm<sup>-3</sup>) e Ca (0, 75, 150, 225, 300 mg dm<sup>-3</sup>). E, no último experimento, avaliou-se a influência da nutrição mineral na distribuição espacial do NCS em campo, com o uso da geoestatística. Foram coletados e georreferenciados 30 pontos amostrais, de 20 em 20 m. Foi utilizado o software GS+ V.7.0<sup>®</sup>, para a obtenção dos semivariogramas e mapas. No primeiro experimento, a AACPS foi significativamente influenciada pela interação potássio-cálcio. Os tratamentos que apresentaram melhor resposta fotossintética à luz foram com 6 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca e 5 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca, respectivamente. Não houve diferenças significativas na interação potássio-cálcio para matéria seca da raiz, caule e folhas e nem efeito isolado dos dois nutrientes. Observou-se efeito isolado das doses de potássio para o teor de K na matéria seca do caule. As doses de cálcio influenciaram o teor de Ca nos tecidos do caule. Os teores de Ca e K foram influenciados pela doses de potássio nos

tecidos da matéria seca das folhas. Com o incremento das doses de K na solução, houve aumento e redução linear dos teores de K e Ca, respectivamente, na folha. No segundo experimento, para a AACPS, os melhores tratamentos foram: chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações). Houve correlação negativa para a intensidade da ferrugem com a produção de soja. No terceiro experimento, as menores AACPI e AACPS foram observadas quando as plantas foram submetidas a três e quatro aplicações de chlorothalonil. Observou-se menor AACPS na dosagem de 100% do produto comercial. Não houve correlação significativa da produção com a intensidade da doença para o número de aplicações e dosagens. Para a variável AACPS, uma e duas aplicações de 25% não diferiram estatisticamente da testemunha. Os tratamentos: duas aplicações de 50% e três e quatro aplicações de 25%, 50% e 100% não diferiram estatisticamente do adicional padrão pyraclostrobin + epoxiconazole. Para a variável AACPI, uma e duas aplicações de 25%, 50% e 100% e três aplicações de 50% não diferiram estatisticamente da testemunha e nenhum tratamento diferiu estatisticamente de pyraclostrobin + epoxiconazole. Com relação ao quarto ensaio, para as variáveis do NCS, somente houve interação significativa entre as doses de K e Ca para nº de ovos por fêmea. As doses de K influenciaram significativamente as seguintes variáveis nematológicas: nº de cistos/vaso, nº de ovos/cisto, nº de ovos/vaso, nº de fêmeas e cistos/sistema radicular e fator de reprodução. A interação potássio-cálcio afetou todas as variáveis agronômicas analisadas. Observou-se interação potássio-cálcio significativa para os teores de Ca na matéria seca da parte aérea. Os teores de K na parte aérea foram influenciados somente pelas doses de potássio adicionadas ao solo. E no último experimento, para as variáveis juvenis de 2º estágio, teor de K, Ca e pH do solo, houve forte dependência espacial. As variáveis cistos viáveis e não viáveis de *H. glycines* e ovos/cisto apresentaram moderada dependência espacial. Houve alta correlação visual e de Pearson entre as variáveis juvenis de 2º estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos/cisto com os teores de Ca. Teores de Ca elevados no solo foram altamente correlacionados com os valores altos de pH. Para os teores de K, houve correlação visual e de Pearson com a variável cisto viável no solo. Ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis analisadas do NCS, com alcances para juvenis, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto de 44,5; 63,1; 59,7 e 48,1 m, respectivamente. Para os teores de cálcio e pH do solo, ajustaram-se os modelos gaussiano e, para o teor de potássio no solo o modelo esférico com alcances de 26,9, 28,1 e 472,850 m para teor de K, Ca e pH, respectivamente.

---

\*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, J.B. **Soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) management with nutrients and fungicides and the influence of mineral nutrition on soybean cyst nematode (*Heterodera glycines* Ichinohe) spatial distribution and reproduction.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Thesis – Doctorate in Plant Phytopathology)\*

The soybean rust management with nutrients and fungicides and the influence of mineral nutrition on soybean cyst nematode (SCN) spatial distribution and reproduction were studied in six experiments. The first experiment carried out in greenhouse aimed to evaluate the intensity of asian rust in soybean plants as a function of different potassium (K) (4, 5, 6, 7, 8 mmol/L<sup>-1</sup>) and calcium (Ca) (3, 5, 7, 9, 11 mmol/L<sup>-1</sup>) rates amended to the nutrient solution. For the second experiment carried out in the field, the objective was to evaluate the association of systemic and protectant fungicides with silicon in the reduction of soybean rust intensity. The following treatments were evaluated: 1-control; 2-sodium silicate; 3-calcium silicate; 4-chlorothalonil; 5-chlorothalonil + sodium silicate (2 sprays); 6-chlorothalonil + sodium silicate (3 sprays); 7-pyraclostrobin + epoxiconazole; 8-pyraclostrobin + epoxiconazole + potassium chloride (KCl) and 9-pyraclostrobin + epoxiconazole + chlorothalonil. In the third experiment conducted in the field the objective was to investigate the number of sprays (1, 2, 3 e 4 ) and chlorothalonil rate (25%, 50% and 100% commercial product) effects on the soybean rust intensity. The fourth experiment performed in greenhouse aimed to evaluate the SCN reproduction on soybean plants as a function of different K (0, 150, 300, 450, 600 mg dm<sup>-3</sup>) and Ca (0, 75, 150, 225, 300 mg dm<sup>-3</sup>) rates. And the last experiment aimed to evaluate the mineral nutrition effect on SCN spatial distribution in the field, using geostatistics. At thirty sampling points plant and soil were collected and georeferenced every 20 m. The software GS+ V.7.0<sup>®</sup> was used to obtain the semivariograms and maps. In the first experiment, the AUSPC was significantly influenced by the calcium-potassium interaction. Treatments that presented the best photosynthetic response were obtained with 6 and 5 mmol/L<sup>-1</sup> of K and Ca and 5 and 5 mmol/L<sup>-1</sup> of K and Ca respectively. There were neither significant differences in the calcium-potassium interaction for root, stem and leaf dry weight nor isolated effect of both nutrients. Isolated effect of potassium rates was observed in K content in stem dry matter. The calcium rates influenced the Ca content in the stem tissues. The Ca and K contents in leaf tissue dry matter were influenced by K rates. As K rates in the

solution increased, there was an increase and linear decrease in K and Ca contents, respectively in this plant organ. In the second experiment, for AUSPC the best treatments were: chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + sodium silicate (3 sprays), KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) and chlorothalonil + silicato de sódio (2 sprays). There was a negative correlation between rust intensity and soybean yield. In the third experiment, the lower AUIPC and AUSPC was observed when plants were submitted to three and four chlorothalonil sprays. A lower AUSPC was observed in the commercial product 100% rate. There was no significant correlation of yield with disease intensity for the number of sprays and rates. For AUSPC, one and two applications of 25% rate was not statistically different from the control. Treatments composed by two applications of 50% rate and three and four applications of 25, 50 and 100% rate were not significantly different from the standard control pyraclostrobin + epoxiconazole. For AUIPC, one and two applications of 25, 50 and 100% rates and three applications of 50% rate were not statistically different from the control and no treatment was significantly different from pyraclostrobin + epoxiconazole. With regard to the fourth assay, for SCN variables, there was a significant interaction only between K and Ca rates in the number of eggs per female. The K rates significantly influenced the following nematological variables: n° of cysts/pot, n° eggs/cyst, n° eggs/pot, n° females and cysts/root system and reproduction factor. The calcium-potassium interaction affected all analyzed crop-related variables. A significant calcium-potassium interaction was observed for Ca contents in shoot dry matter. The shoot K content was only influenced by potassium rates amended to the soil. And in the last experiment pH, K and Ca contents in the soil showed a strong 2<sup>nd</sup>-stage juvenil spatial dependence. Variables viable and non-viable cysts and eggs/cyst of *H. glycines* presented moderated spatial dependence. There was high visual and Pearson's correlation between Ca contents and the variables 2<sup>nd</sup>-stage juvenils, viable and non-viable cysts and eggs/cyst. High Ca contents in the soil were highly correlated to high pH values. For K contents there was visual and Pearson's correlation with viable cyst in the soil. The spherical model was adjusted to all SCN analyzed variables with ranges for juveniles, viable and non-viable cysts, and eggs/cyst of 44.5; 63.1; 59.7 and 48.1m, respectively. All calcium contents and pH in the soil adjusted to the Gaussian model and potassium contents in the soil better fit to the spherical model with 26.9, 28.1 and 472.850 m ranges for K and Ca contents and pH, respectively.

---

\*Guidance committee: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Major Professor),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA



## **CAPÍTULO 1**

**MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*  
Sydow & P. Sydow) COM NUTRIENTES E FUNGICIDAS E A  
INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL NA DISTRIBUIÇÃO  
ESPACIAL E REPRODUÇÃO DO NEMATÓIDE DO CISTO DA SOJA  
(*Heterodera glycines* Ichinohe)**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os principais fatores limitantes da produtividade da soja, as doenças são mais importantes, com destaque para a ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) e para o nematóide do cisto da soja (NCS) (*Heterodera glycines* Ichinohe) (Yorinori, 1994). O NCS, devido, principalmente, à longa persistência dos cistos no solo e à severidade dos sintomas atribuídos a seu parasitismo, é um dos principais patógenos da cultura (Yorinori, 1995). No Brasil, em apenas seis safras agrícolas após sua detecção, estimou-se área infestada, de aproximadamente, 1,5 milhão de hectares, e perdas acumuladas de mais de 130 milhões de dólares (Wrather et al., 1997).

Já a ferrugem da soja, nos últimos anos, tornou-se problema relevante para o agronegócio dos principais países produtores de soja da América do Sul, onde se destaca o Brasil, isso porque pode causar acentuadas perdas com reflexos negativos na rentabilidade do produtor e na economia destes países (Yorinori & Lazzarotto, 2004). Segundo estimativa da Embrapa, os prejuízos causados pela ferrugem da soja aumentaram gradativamente, com registros em torno de US\$ 2 bilhões, na safra 2003/2004 (Furlan, 2005).

Existem poucos estudos referentes ao manejo da ferrugem, conseqüentemente, o controle limita-se à aplicação de fungicidas, principalmente do grupo dos triazóis e das estrobilurinas. Apesar de eficazes, na maioria das vezes, são necessárias duas ou mais aplicações, onerando os custos de produção. Além disso, o uso constante de fungicidas com modos de ação específicos podem favorecer a seleção de populações do patógeno, sendo necessário alternar produtos com diferentes mecanismos de ação (Kimati, 1987) e desenvolver outras estratégias no controle da doença. Entre essas estratégias, cita-se a nutrição mineral equilibrada. Assim, diversos autores observaram

redução na incidência de doenças devido à adubação com potássio (K) e cálcio (Ca) (Cardoso et al., 1985; Chrominski et al., 1987; Luedders et al., 1979; McGuire & Kelman, 1986; McNew, 1953; Perrenoud, 1990; Sharma, 1994; Shannon et al., 1977).

Os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) são utilizados na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média, que separa células em divisão, sendo considerados mensageiros secundários importantes com participação na deposição de calose, na regulação da síntese de fitoalexinas e em outras respostas (Dixon et al., 1994). Com relação ao potássio (K), a maior resistência às doenças ocorre pelo pouco acúmulo de compostos nitrogenados solúveis e açúcares redutores, indisponibilizando substrato para os patógenos, além de aumentar o conteúdo de compostos fenólicos, enrijecer os tecidos com aumento na resistência à penetração de patógenos (Yamada, 1995) e auxiliar na redução desses na semente (Mascarenhas et al., 1976).

Dentre os elementos minerais, o silício (Si) também destaca-se, por reduzir a severidade de doenças, em vários patossistemas (Epstein, 1999). Existem relatos de uso desse elemento em associação com fungicidas na redução de doenças, como oídio em abóbora, brusone em grama santo-agostinho e ferrugem da soja (Heckman et al., 2003; Brecht et al., 2004; Nascimento et al., 2005).

Em relação ao manejo do NCS, sua população pode ser reduzida por rotação de culturas, uso de cultivares resistentes e o manejo do solo. Essas práticas, em conjunto com a nutrição mineral equilibrada, podem tornar a planta mais vigorosa. Os solos dos cerrados apresentam baixa fertilidade natural, com desequilíbrios nutricionais geralmente causados por formulações inadequadas de adubo e, principalmente, por calagem excessiva na superfície. Apesar de os fertilizantes serem largamente utilizados na agricultura, sua importante atuação na redução do estresse causado por *H. glycines* recebe pouca atenção. O estado

nutricional da planta de soja influi também no seu crescimento e no número de nematóides que dela se alimentam (Yorinori, 1995) com alterações na dinâmica de população do NCS (Riggs & Schmitt, 1989).

Dessa maneira, conhecer a dinâmica populacional espacial e temporal desses organismos constitui ponto fundamental na avaliação dos possíveis danos ocorrentes (Barker & Noe, 1987). Assim, entender os modelos de distribuição espacial dos fitonematóides é essencial para formular esquemas de amostragem eficientes e para estabelecer e interpretar os resultados de experimentos em campo (Barker & Campbell, 1981), pois o padrão de distribuição espacial de doenças raramente é uniforme ou regular (Campbell & Madden, 1990) e vários fatores podem estar ligados a esse padrão, destacando-se, principalmente os nutrientes minerais essenciais, com importância na intensidade de ocorrência das doenças (Marschner, 1995). No estudo dessa distribuição, a variabilidade de características do solo, se não considerada, pode levar a conclusões errôneas de resultados experimentais e ao mal uso de áreas agrícolas. Quando considerada, pode tornar-se instrumento valioso porque conhecer a variabilidade espacial possibilita planejar e interpretar experimentos usados com frequência para recomendar o manejo do solo e culturas (Albuquerque et al., 1996). Na caracterização de variabilidades das características do solo e de doenças de plantas, o uso de ferramentas, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio de mapas, permite produzir representações gráficas da variação espacial dos fenômenos, sua qualificação, sua quantificação e suas relações, facilitando a compreensão para análise e tomada de decisão segura e eficiente (Ribeiro et al., 2000). Desse modo, os objetivos desse estudo foram:

Estudar a associação de fungicidas e de silício e verificar o efeito do número de aplicações e doses de chlorothalonil na redução da intensidade da ferrugem da soja em campo;

Verificar o efeito de doses de cálcio e de potássio na intensidade da ferrugem e na reprodução do NCS em casa-de-vegetação;

Estudar a influência da nutrição mineral na distribuição espacial do NCS em campo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Fungicidas no controle da ferrugem da soja

O controle da ferrugem da soja compreende diversas medidas conjuntas, como utilizar cultivares mais precoces semeadas no início da época recomendada para cada região, evitar o prolongamento do período de semeadura, monitorar lavouras e observar as condições de temperatura (14<sup>o</sup> a 28°C) e umidade alta favorável ao patógeno. Porém, na incidência da doença, o controle químico com fungicidas é o principal método de controle (Yorinori & Wilfrido, 2002).

O controle químico da ferrugem da soja é realizado, principalmente, com fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis e misturas de triazóis + estrobilurinas. De acordo com ensaios realizados pela Embrapa Soja, na safra de 2003/2004, para o controle da ferrugem asiática, observou-se, na análise conjunta dos resultados dos tratamentos aplicados, a formação de três grupos de fungicidas em relação à eficiência. No primeiro grupo (>90% de controle), estão os princípios ativos fluatrilfol (62,5 g i.a/ha), tebuconazole (100 g i.a/ha), pyraclostrobin + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a/ha), trifloxystrobin + ciproconazole (56,2 + 24 g i.a/ha), azoxystrobin + ciproconazole (60 + 4 g i.a/ha); no segundo grupo (80% a 86% de controle), os princípios ativos tetraconazole (50 g i.a/ha), myclobutanil (100 g i.a/ha) e epoxiconazole (37,5 g i.a/ha) e, no terceiro grupo (59-74% de controle), os princípios ativos difenoconazole (50 g i.a/ha), azoxystrobin (50 g i.a/ha), fluquinconazole (62,5 g i.a/ha), trifloxystrobin + propiconazole (50 + 50 g i.a/ha) e propiconazole (125 g i.a/ha) (Godoy, 2005).

Apesar de eficazes, esses produtos são de alto custo e, na maioria das vezes, são necessárias duas ou mais aplicações, onerando os custos de produção.

Além disso, o uso contínuo de fungicidas com o mesmo princípio ativo pode resultar em resistência do patógeno a estes produtos. Porém, ainda não existem registros de fungicidas protetores do grupo dos cúpricos, ditiocarbamatos e ftalonitrilas. Por outro lado, o chlorothalonil pode ser uma forma de controle químico promissora, pois é fungicida protetor de contato do grupo das ftalonitrilas de amplo espectro e controla grande número de fungos em diversas culturas de importância agrícola. O fungicida age na inibição da respiração das células dos fungos, devido à rápida ligação da molécula do chlorothalonil com vários grupos sulfidrílicos, que estão em várias partes dos aminoácidos que compõem as células dos fungos. Estes aminoácidos são integrantes das proteínas enzimáticas, que são inativadas, pois o seu aminoácido correspondente será bloqueado pelo chlorothalonil. Ao serem desativadas, as proteínas enzimáticas não podem completar sua ação no ciclo de Krebs e o ATP (fosfato rico em energia) não é mais produzido. Dessa maneira, os processos essenciais para a sua formação e viabilidade não são completados e as células dos fungos morrem. O chlorothalonil exerce sua ação no fungo por meio de uma ligação espontânea com a glutatona e, por conseqüência, evita a ativação (redução) de gliceraldeído-3-fosfato de hidrogenase e, talvez, outras enzimas similares. Isto impede que as células dos fungos obtenham energia necessária para infectar as plantas (Isk Biosciences, 1995). Além do controle químico por fungicidas protetores, outras estratégias de controle economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis, porém, com boa relação custo-benefício, poderiam contribuir para o manejo da doença, entre elas, destaca-se a nutrição mineral.

## **2.2 Nutrição mineral**

Além da suscetibilidade varietal, o estado nutricional das plantas é considerado um dos fatores que podem influenciar a incidência das doenças de modo geral (Camper & Lutz Jr., 1977; Marschner, 1995; Perrenoud, 1990). É

importante considerar que a nutrição mineral é fator ambiental que pode ser manipulado com relativa facilidade e utilizada como complemento no controle de doenças (Marschner, 1995).

A nutrição mineral deficiente e o desequilíbrio de nutrientes no solo podem constituir fator de predisposição de plantas à infecção por patógenos. Quando os elementos minerais requeridos pelo vegetal são fornecidos de forma adequada, a planta, normalmente, apresenta maior capacidade de reação à doença. O desequilíbrio nutricional, ocasionado tanto por macro como por micronutrientes, pode contribuir para mudança na suscetibilidade do hospedeiro, pelo fato de influenciar o vigor e a reação de defesa da planta (Bedendo, 1995).

Assim a nutrição das plantas determinará, em grande parte, sua resistência ou suscetibilidade às doenças, suas estruturas histológicas ou morfológicas, as funções dos tecidos em reduzir a atividade patogênica, a virulência e a habilidade do patógeno em sobreviver. A deficiência, ao redor do ponto de infecção, de nutrientes necessários para sintetizar compostos químicos e barreiras físicas, pode resultar em suscetibilidade da planta às doenças. Por outro lado, a resistência pode surgir quando nutrientes essenciais à atividade patogênica estão ausentes (Marschner, 1995).

Os mecanismos da interação patógeno-hospedeiro-nutrientes não são completamente conhecidos, mas admite-se reduzir a severidade por aumentar a “tolerância” às doenças, facilitar a evasão às doenças, produzir resistência fisiológica da planta e reduzir a virulência do patógeno (Zambolim & Ventura, 1993).

### **2.2.1 Potássio (K)**

O potássio (K) é considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, sendo a ele atribuído efeito benéfico sobre a sanidade das plantas na maioria das espécies estudadas (Perrenoud, 1990). Este nutriente



desempenha papel fundamental em muitas reações do metabolismo das plantas (McNew, 1953). Em geral, a nutrição adequada em K resultou em menor incidência de doenças, devido ao aumento da resistência à penetração e a colonização de muitos patógenos. O potássio aumentou a espessura da parede celular em células da epiderme, promoveu rigidez da estrutura dos tecidos, regulou o funcionamento dos estômatos e favoreceu a rápida recuperação dos tecidos injuriados (Huber & Arny, 1985; Marschner, 1995). Também observou-se em plantas mais resistentes, o acúmulo de fitoalexinas e fenóis ao redor dos sítios de infecção com a presença de K (Huber & Arny, 1985). Embora, segundo Malavolta (2006), no nível molecular, quando ocorre o excesso de potássio, há desequilíbrio nas relações K/Ca e K/Mg; menor formação da lamela média da parede celular por falta de cálcio; quebra do funcionamento normal da membrana plasmática; vazamento de solutos e distúrbios na formação de proteínas e no uso da energia do ATP para sínteses em geral. Por outro lado, quando ocorre deficiência deste nutriente há redução na espessura da parede celular; acúmulo de carboidratos solúveis (menor síntese de amido, celulose) e de aminoácidos livres, isto é, menos proteínas estruturais, enzimáticas e protetoras; menor proteção de fenóis e fitoalexinas inibidoras do patógeno e desequilíbrio na relação N/K igual a excesso de nitrogênio.

Também, existem evidências consideráveis de que injúrias causadas por *H. glycines* são mais severas em solos de baixa fertilidade, principalmente naqueles pobres em K (Morgan-Jones & Rodriguez-Kabana, 1984 e Wrather et al., 1984).

Muitas doenças de plantas são controladas mais pelo uso da adubação potássica em relação a qualquer outra substância, talvez porque o K seja essencial para catalizar as atividades celulares (Mc New, 1953).

Shannon et al. (1977) relataram que a aplicação de nematicida isoladamente não aumentou a produção de soja, tanto quanto a aplicação isolada

de K em solos infestados por *H. glycines*, com baixo teor de K trocável. Sendo assim, a produção pode ser limitada mais pela deficiência de K do que pelo NCS. Em estudos de Luedders et al. (1979), o número de cistos no solo e de fêmeas nas raízes aumentou na menor dose de K em comparação com a testemunha e diminuiu significativamente em doses mais altas de K para duas fontes, cloreto de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Por outro lado, aumentos no nível de K na planta, além do ótimo, não causam efeitos substanciais nos constituintes orgânicos e na resistência a doenças (Marschner, 1995). Smith et al. (2001) verificaram não haver redução da concentração de K em tecidos de parte aérea da planta com o aumento de níveis de inóculo do NCS, concluindo não haver necessidade de aumentos dos níveis de fertilização potássica em áreas infestadas por este nematóide.

Em relação a doenças foliares, Garcia Júnior et al. (2003), em estudo sobre o efeito da nutrição com potássio e cálcio na incidência e na severidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro, verificaram a influência do incremento de K e Ca sobre a área da curva de progresso do número total de folhas das mudas de cafeeiro (AACPTF). O incremento das doses de K e Ca apresentou efeito significativo sobre a incidência da doença. A menor área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) foi obtida com a dose de 4 mmol de K/L de água. Para o Ca, a AACPI decresceu linearmente com o aumento das doses. Segundo os mesmos autores, a porcentagem de área foliar lesionada (AFL) foi influenciada pelo incremento das doses de K e de Ca, assim como pela interação entre ambos os fatores, indicando a interferência de um nutriente sobre o outro.

Ito et al. (1993), em estudo sobre o efeito da adubação potássica (0, 150, 300, 450 e 600 Kg/ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) sobre a queima foliar da soja, causada por *Cercospora kikuchii* (T.Matsu & Tomayasu) Chupp, também observaram redução do progresso da doença de acordo com aumento linear das doses de K<sub>2</sub>O. Resultados semelhantes foram obtidos por Mascarenhas et al. (1997) que

observaram redução da severidade do cancro da haste da soja de acordo com aumento das doses de  $K_2O$ , até  $160 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Ao contrário na dose de  $400 \text{ mg.dm}^{-3}$ , houve aumento da severidade, possivelmente devido à competição entre cátions, principalmente com o cálcio. A redução da intensidade da doença, observada por estes autores, decorrente do aumento das doses de potássio, está relacionada com o papel do potássio nas diversas funções da planta. Em geral, esse elemento confere maior resistência dos tecidos, atuando na redução do potencial de inóculo e promovendo rápida recuperação das injúrias (Marschner, 1995).

### **2.2.2 Cálcio (Ca)**

Os íons cálcio ( $Ca^{2+}$ ) são utilizados na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média, que separa células em divisão. O cálcio também é utilizado no fuso mitótico durante a divisão celular. Ele é requerido para o funcionamento normal das membranas vegetais e possui o papel de mensageiro secundário em várias respostas das plantas, tanto a sinais ambientais quanto a hormonais. Em sua função como mensageiro secundário, o cálcio pode ligar-se à calmodulina, uma proteína encontrada no citosol de células vegetais. O complexo calmodulina-cálcio regula muitos processos metabólicos (Taiz, Zeiger, 2004).

De acordo com Huber (2002), esse elemento complementa a função do K na manutenção da organização celular, hidratação e permeabilidade e o conteúdo deste elemento nos tecidos das plantas afeta a incidência de doenças parasíticas de duas formas: na primeira, quando os níveis de cálcio são baixos, o efluxo de compostos de baixo peso molecular (açúcares) do citoplasma para o apoplasto é aumentado; na segunda, poligalacturonatos e cálcio são requeridos na lamela média, para que haja estabilidade da parede celular. Muitos agentes fitopatogênicos alcançam o tecido da planta pela produção de enzimas

pectolíticas extracelulares, como a galacturonase, que dissolvem a lamela média (McGuire & Kelman, 1986). A atividade desta enzima é drasticamente inibida pela presença do cálcio (Marschner, 1995).

Segundo Malavolta (2006), a deficiência de cálcio causa alterações em diversos níveis na planta como menor resposta aos estímulos representados pelo ataque do patógeno, isto é, menor atividade como mensageiro e ativador da calmodulina; redução na síntese do amido, celulose (parede) e proteínas tendo como conseqüências favoráveis ao patógeno o aumento nos teores de açúcares e aminoácidos com menor quantidade de pectato na lamela média; maior atividade da poligalacturonase do fungo não inibida pelo cálcio; desorganização das membranas com menor absorção e maior vazamento de sais, perda de aminoácidos e açúcares para o apoplasto; menor espessura de parede celular e entupimento do xilema; enfraquecimento e colapso do pecíolo; maior suculência; menor quantidade de raízes, murcha e flacidez. Assim, Castano & Kernkamp (1956) relataram que células corticais de soja de plantas deficientes em cálcio desenvolveram-se pobremente com parede celular fina, lamela média pouco desenvolvida e largos espaços intercelulares. Concluíram que esta condição permitiu a penetração e a invasão de hifas de *Rhizoctonia solani* Kuhn. Também, em tratamentos deficientes em cálcio, Chrominski et al. (1987) observaram maior percentagem de mortalidade de *Cucurbita pepo* L. e *Helianthus annuus* L., causada por *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary.

Por outro lado, a aplicação de cálcio no solo pode reduzir a severidade de várias doenças causadas por patógenos de raiz e ou caule, entre os quais se destacam *Erwinia* (Burr) Winsl., *Rhizoctonia* Kuhn, *Sclerotium* Sacc, *Pythium* Trow, *Botrytis* Pers. e *Fusarium* sp., bem como do nematóide *Ditylenchus dipsaci* (Kuhn) Filipjev. Além do efeito sobre o pH do solo, o cálcio pode ser importante na resistência de plantas a estas doenças, devido ao seu papel na composição da parede celular, conferindo resistência. O cálcio protege os

compostos pécticos da maceração por enzimas extracelulares destes patógenos (Huber, 2002).

### **2.2.3 Silício (Si)**

#### **2.2.3.1 Essencialidade e acúmulo**

O silício (Si) não é considerado elemento essencial às plantas (Jones & Handreck, 1967; Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 2001; Malavolta, 2006) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é essencial quando, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, não pode ser substituído por nenhum outro elemento, tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce papel neutralizado de efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para as plantas (Malavolta, 2006).

Mesmo não sendo essencial, a absorção e o acúmulo de Si pelas plantas trazem inúmeros benefícios (Marschner, 1995). Os efeitos benéficos do silício restringiam-se a algumas espécies das famílias Poaceae e Cyperaceae (Epstein, 1999). No entanto, foram relatados benefícios às plantas de abóbora, pepino (Heckman et al., 2003; Miyake & Takahashi, 1983), algodão (Gama et al., 2004; Lemes et al., 2004), café (Alexandre Pozza et al., 2004; Santos et al., 2005) e a várias olerícolas, como o tomate (Lana et al., 2002; Miyake & Takahashi, 1978), a cenoura (Juliatti, et al., 2003), a alface (Sobrinho et al., 2004) e as ornamentais, como a rosa (Voogt & Sonneveld, 2001), apresentaram resposta a adição do Si.

Quanto ao acúmulo de Si, as plantas são classificadas em acumuladoras, ou seja, aquelas cujos teores de SiO<sub>2</sub> variam de 1% a 3% na matéria seca e não

acumuladoras, plantas com menos de 0,5% de SiO<sub>2</sub> (Marschner, 1995; Mengel & Kirkby, 2001).

Posteriormente, outros conceitos foram relatados e foram definidas como acumuladoras as plantas com teor de Si superior a 1% e com relação Si/Ca maior do que 1. Plantas da família Poaceae, como o arroz e o trigo, são exemplos deste grupo. Plantas como a soja e as da família curcubitaceae, com 0,5% a 1% de Si na matéria seca, porém, com relação Si/Ca inferior a 1, são classificadas como de exigência intermediária. Já plantas não acumuladoras apresentam como característica concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5% (Ma et al., 2001).

#### **2.2.3.2 Absorção, transporte e redistribuição**

O Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), porém, seu teor na planta é variável entre as espécies (Epstein, 2006). Segundo Jones & Handreck (1967), o Si é absorvido na forma não aniônica [Si(OH)<sub>4</sub>], passivamente via fluxo transpiratório.

O transporte do Si a longa distância, em plantas, é limitado ao xilema (Balastra et al., 1989). O Si é depositado, principalmente, na forma de SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O amorfa ou opala. Segundo Yoshida (1975), no interior da planta, 99% do Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado e o restante na forma coloidal ou iônica. A precipitação do Si na planta pode ocorrer tanto na parte aérea quanto nas raízes (Hodson & Sangster, 1988) e, uma vez nesta forma, o Si não sofre redistribuição (Raven, 1983).

#### **2.2.3.3 Silício no controle de doenças de plantas**

O silício pode atuar como barreira física ou indutor de resistência. A formação de barreira física relaciona-se com a forma de o Si acumular-se nas plantas. Em seu movimento ascendente via apoplasto das raízes para as folhas, o

Si sofre polimerização nos espaços extracelulares das paredes das células epidérmicas, das folhas e dos vasos do xilema, fortificando estruturas da parede celular (Epstein, 1994). Por outro lado, o silício pode ter papel ativo na resistência das plantas às doenças, por meio de reações de defesa (Fawe et al., 2001). O exemplo clássico do papel do silício na resistência de plantas a doenças é o patógeno *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc., agente causal da brusone do arroz. A presença de compostos orgânicos que contêm silício na parede celular de plantas de arroz exerce resistência ao ataque de enzimas produzidas pelo patógeno. Existe, portanto, relação direta entre o conteúdo de silício e resistência ao patógeno em arroz. Entretanto, nem todas as espécies de plantas acumulam silício quando são infectadas por patógenos, pois o acúmulo parece ocorrer somente em interações incompatíveis de patógeno-hospedeiro (Rodrigues & Datnoff, 2005).

O uso de silicato de cálcio e de sódio é freqüente nos cultivos protegidos de pepino e roseira, na Europa, para o controle de lesões no caule, causadas por *Botrytis cinerea* Pers. (Belanger et al., 1995). A redução na incidência da murcha-de-fusário em plantas de pepino requer a aplicação de 2 a 4 t/ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio ou de 2,25 a 4,5 t/ha de silicato de potássio (Miyake & Takahashi, 1983). De acordo com Cherif & Belanger (1992), o uso de silicato de cálcio em solução nutritiva com plantas de pepino controlou a podridão das raízes causada por *Pythium ultimum* Trow.

Rodrigues (2000) relatou que a fertilização silicatada (wollostonita nas doses de 0, 2, 4, 6 e 8 ton ha<sup>-1</sup>) contribuiu significativamente para reduzir a severidade da queima das bainhas do arroz causada por *R. solani*. O autor encontrou também relação entre o incremento no teor de Si na planta e a redução das variáveis no número total de lesões e na área abaixo da curva do comprimento relativo de lesões totais. O autor atribuiu esta redução à formação de barreira física, dificultando a penetração das hifas.

A formação de barreira física pelo silício, impedindo a penetração de hifas, também foi relatada por Bowen et al. (1992), em folhas de videira infectadas com *Uncinula necator* (Schwein) Burrell e pulverizadas com 17 mM de silicato de potássio. Os autores observaram que plantas tratadas apresentaram 14% menos colônias, quando comparadas com plantas controle.

O silício associado aos fungicidas pode também ser aplicado no manejo de doenças. Plantas de soja pulverizadas somente com silicato de potássio (60g/L) apresentaram redução de 34% na severidade da ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*), enquanto a mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e a mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + pyraclostrobin) reduziram a severidade da doença em 76% e 83,3%, respectivamente (Nascimento et al., 2005). Em outro patossistema, Brecht et al. (2004) verificaram que o silicato de cálcio, sozinho, reduziu em até 41% a brusone em grama santo-agostinho. A associação silicato de cálcio e fungicidas protetores chlorothalonil promoveu redução de 68% na AACPD, comparando plantas tratadas e não tratadas com silicato.

### **2.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

O SIG é o conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e de usuários, integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o



processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação (Tozzi, 2000).

Seu principal objetivo é processar informações espaciais, devendo ser capaz de criar abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente dados, de forma a identificar a relação entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas para a compreensão holística dessa relação. Seu banco de dados é, geralmente, constituído por diferentes temas georreferenciados, capazes de descrever o comportamento espacial de determinada variável (Ribeiro et al., 2000).

Sendo assim, como o padrão espacial da ‘população da doença’ raramente é uniforme, na investigação da natureza dessa desuniformidade é necessário descrever os padrões espaciais das populações do hospedeiro e do patógeno, estabelecer como esses padrões estão relacionados e descrever como são afetados por variações espaciais do ambiente biótico e abiótico (Bergamim Filho et al., 2002). Dessa maneira, o conhecimento de todas as características de uma epidemia, tanto temporais como espaciais, facilita maior compreensão da estrutura e do comportamento dos patossistemas (Campbell & Madden, 1990).

O conhecimento dessas características pode ser obtido por modernas tecnologias, como SIG, GPS, sensoriamento remoto e a geostatística, que produzem oportunidades de pesquisa na investigação das dinâmicas populacionais dos patógenos e interações entre eles e outras variáveis no campo. Informações e aplicações destas tecnologias também produzem demonstrações dos efeitos visíveis do manejo e de práticas culturais para o controle de patógenos. Segundo Morgan et al. (2002), estratégias de manejo obtidas a partir destas tecnologias resultam em aplicações mínimas de pesticidas em campos com máximo retorno econômico e menor contaminações do ambiente.

### **2.3.1 Geoestatística**

Geralmente, pode-se caracterizar um fenômeno natural pela distribuição, no espaço, de uma ou mais variáveis, denominadas regionalizadas. As variáveis regionalizadas possuem também características qualitativas estreitamente ligadas à estrutura natural que elas representam. Tais características são: a localização, a continuidade (espacial) e a anisotropia (Uzumaki, 1994).

A geoestatística é empregada para o estudo estatístico de um fenômeno natural, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis. A diferença básica entre a estatística clássica e a geoestatística consiste em que a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente, enquanto a segunda requer valores das amostras correlacionadas ou dependentes no espaço (Journel & Huijgrechts, 1978).

O termo geoestatística acha-se consagrado como tópico especial da estatística aplicada, capaz de abordar problemas de variáveis regionalizadas, as quais têm comportamento espacial com características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente casuais e as totalmente determinísticas. Apresenta aparente continuidade no espaço, sendo representadas por funções numéricas ordinárias que assumem valor definido a cada ponto no espaço e matematicamente descrevem um fenômeno natural. A continuidade geográfica atribuída manifesta-se pela tendência que a variável tem de apresentar valores muito próximos em dois pontos vizinhos e mais diferentes à medida que os pontos ficam mais distantes (Landim, 1998).

#### **2.3.1.1 Semivariogramas**

As características qualitativas da regionalização são bem expressas por meio do semivariograma. A determinação do semivariograma é o primeiro passo no procedimento de uma estimativa por meio da geoestatística, e pode ser considerada como o passo mais importante porque o modelo escolhido será

utilizado por meio de todo o processo de estimação e influirá em todos os resultados e conclusões dos fenômenos (Guerra, 1988).

O semivariograma, em termos práticos, é ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e produz o mínimo necessário de informação sobre o fenômeno a ser estudado (Valente, 1988). O semivariograma é uma curva que representa o grau de continuidade de uma variável regionalizada. Experimentalmente, plota-se, à distância  $h$  nas abcissas e nas ordenadas, o valor médio do quadrado da diferença entre os valores da variável regionalizada tomados a uma distância  $h$  de uma para outra variável. Em termos gerais, o semivariograma é função crescente com a distância  $h$ , desde que, em média, quanto maior a distância que ambas as amostras estiverem uma da outra, maiores serão as diferenças entre os seus valores. Esta afirmação fornece conceito preciso da zona de influência de uma amostra. Quanto mais rápido ou lento cresce um semivariograma, mais rápida ou lentamente será representada a deterioração da influência de uma determinada amostra sobre mais zonas remotas de determinado fenômeno.

Esquemáticamente o semivariograma é representado por:

- alcance ( $a$ ): à medida que a distância entre os pares aumenta, a variabilidade tenderá a aumentar até atingir determinado nível. A distância em que o semivariograma atinge este nível é denominada de alcance, sendo que as quantificações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e, portanto, são independentes entre si. O alcance corresponde ao raio de dependência espacial da variável.

- patamar ( $C_1 + C_0$ ): representa o nível de variabilidade em que o semivariograma se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral.

- efeito pepita ( $C_0$ ): vários fatores como erros de amostragens, erros de medidas ou ainda microrregionalizações da variável em análise causam uma descontinuidade na origem do semivariograma, denominado de efeito pepita. Para distância zero ( $h=0$ ), o semivariograma deve apresentar variabilidade nula (Guerra, 1988).

#### **2.3.1.2 Os modelos**

Os modelos teóricos de semivariogramas são curvas provenientes do ajuste de plotagem dos diversos pontos que constituem os chamados semivariogramas experimentais, curvas essas que poderão representar diversos modelos matemáticos (Valente, 1988). Os modelos correspondem às diferentes regionalizações apresentadas na natureza (Guerra, 1988). A escolha do modelo de semivariograma requer julgamento com base na experiência e na compreensão das limitações matemáticas da função. Os principais modelos utilizados na geoestatística são: esférico, exponencial, gaussiano e sem patamar (McBratney & Webster, 1986).

Assim, depois de obter-se o semivariograma experimental para um conjunto de valores de uma propriedade e ajustar o modelo matemático, tem-se a função contínua que descreve a dependência espacial da propriedade, com utilidade para a compreensão de vários aspectos da variabilidade espacial (Trangmar et al., 1985).

#### **2.3.1.3 Krigagem**

Krigagem é o método de interpolação que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (Burgess & Webster, 1980).

A krigagem é uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos resultantes da amostragem realizada. Diversas outras técnicas estão disponíveis para este propósito, entretanto, a krigagem faz uso de interpolador linear sem tendência e de variância mínima que assegura a melhor estimativa. Este estimador tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir desses dados (Isaaks & Srivastava, 1989; Journel & Huijbregts, 1978; Vieira et al., 1983).

### **2.3.2 A geoestatística na nematologia**

Caswell & Chellemi (1986) estudaram a distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, em plantação de abacaxi, no Havai, em área de 40 m x 116 m e concluíram que a distribuição espacial deste nematóide é fortemente agregada. Os autores usaram a geoestatística e observaram o ajuste do modelo esférico ao semivariograma, apresentando alcance da dependência espacial de 10 m.

Wallace & Hawkins (1994) estudaram a aplicação da geoestatística para avaliar dados de solos e de nematóides de 200 amostras de solo coletadas do horizonte Ap de um campo de grama-canário no norte de Minnessota. Estes autores observaram, para ambas variáveis, também, modelo de semivariograma esférico, com pouca variabilidade aleatória associada com dados de solo e grande variabilidade inerente aos dados de nematóide. A krigagem dos dados de solo e do nematóide produziu mapas de contorno (isolinhas) satisfatórios dos dados.

O ajuste de modelo esférico ao semivariograma foi relatado também por Chen & Bird (1992), no estudo geoestatístico para *Pratylenchulus penetrans* Cobb. em cultura de batata, numa área de 100 m x 100 m. Na direção nordeste, o

semivariograma apresentou baixa densidade populacional mostrando anisotropia, isto é, os semivariogramas não são iguais para todas as direções.

Entretanto, Webster & Boag (1992) observaram isotropia nas distribuições espaciais de duas espécies de nematóides (*Globodera rostochiensis* Woll. e *Heterodera avenae* Woll.), em campos no leste da Escócia, contando os cistos viáveis na camada superficial do solo. A distribuição espacial de ambas as espécies foi fortemente agregada. Os semivariogramas apresentaram a mesma forma esférica em todas as amostragens, apresentando alcance efetivo de 60 m para a dependência espacial.

No estudo da distribuição espacial dos fitonematóides *R. reniformis*, *Helicotylenchus dihystera* Cobb e *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) Filip. & Sch. Stekhoven, em algodoeiro submetido a programa de rotação com a seqüência sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.), amendoim (*Arachis hypogea* L.) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy), verificaram-se padrões de distribuição tipicamente do tipo agregado. Este tipo é caracterizado pela formação, no campo, de “focos” ou reboleiras de plantas pouco desenvolvidas, freqüentemente cloróticas e com baixa produção, nos quais os nematóides se concentram ou se acumulam (Tihohod et al., 1992). Esse padrão produz dificuldades na realização de amostragens, assim como na instalação de ensaios de campo, visando ao manejo adequado de áreas infestadas (Barker, 1985).

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERI, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.151-157, 1996.

BALASTRA, M. L. F. C.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLAREAL, C. P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull, **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n.8, p.2356-2363, Aug. 1989.

BARKER, K.R. Sampling nematode communities. In: BARKER, K. R.; C. CARTER; J.N. SASSER, eds. **An advanced treatise on Meloidogyne. II Methodology**. North Carolina State Univ. Graphics, N. Carolina, p. 3-17, 1985.

BARKER, K.R. & C.L. CAMPBELL. Sampling nematode populations. In: ZUCKERMAN, C.M. & R. A. ROHDE, ed. **Plant parasitic nematodes**, Academic Press, New York, 508p. 1981.

BARKER, K.R. & J.P. NOE. Establishing and using threshold population levels. In: VEECH, J.A. & D. W. DICKSON, eds. **Vistas on Nematology**. cap. 12, p. 75-81, 1987.

BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. & AMORIM, L. (ed). **Manual de Fitopatologia**. 2 ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1995. p.331-341.

BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G.. Soluble silicon: its role in crops and disease management of greenhouse crops, **Plant Disease**, St. Paul, v.79, n.4, p.329-336, Apr. 1995.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L. & LARANJEIRA, F. F. Análise espacial de epidemias. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.10, p.155-188, 2002.

BOWEN, P.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n.6, p.906-912, Nov. 1992.

BRECHT, M. O.; DATNOFF, L. E.; KUCHARÉK, T. A.; NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression on gray leaf spot and

increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v.88, n.4, p.338-344, Apr. 2004.

BURGESS, T. M., WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. The semivariogram and punctual kriging. **The Journal of Soil Science**, London, v.31, n.3, p.315-331, Sept.1980.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, 1990. 532 p.

CAMPER, H. M.; LUTZ JUNIOR, J. A. Plowsole placement of fertilizer for soybean and response to tillage of plowsole. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n.4, p.701-704, July./Aug. 1977.

CARDOSO, R. M. L.; OTA, H.; PAVAN, M. A. Influência do pH e da nutrição de cálcio na incidência da murcha vascular do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.4, p.447-457, abr.1985.

CASTANO, J. J.; KERNKAMP, M. F. The influence of certain plant nutrient on infection of soybeans by *Rhizoctonia solani*. **Phytopathology**, St. Paul, v.46, n.6, p.326-328, June 1956.

CASWEL, E.P., CHELLEMI, D.A. A geospatial analysis of spatial pattern of *Rotylenchus reniformis* in a Hawaiian pineapple field. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.18, n.4, p.603, Oct. 1986.

CHEN, J., BIRD, G.W. Geostatistical studies of a geo-referenced *Pratylenchus penetrans*- *Solanum tuberosum* continuum. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.24, n.4, p.586, Oct. 1992.

CHERIF, M. & BELANGER, R. R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. **Plant Disease**, St. Paul, v.76, n.10, p.1008-1011, Oct. 1992.

CHROMINSKI, A.; ABIA, J. A. & SMITH, B. N. Calcium deficiency and gibberellic acid enhance susceptibility of pumpkin and sunflower seedlings to *Sclerotinia sclerotiorum* infection. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, n.17, p.2181-2193, 1987.

DIXON, R. A., HARRISON, M.J., LAMB, C. J. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v.32, p.479-501, 1994.



EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas. Princípios e perspectivas**. Londrina: Editora planta, 2ª ed, 401 p., 2006.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of the National Academy Science**, Washington, v.91, n.1, p. 11-17, Jan. 1994.

FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.159-169.

FURLAN, S. H. Impacto da ferrugem asiática da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.31, n.1, p.119-20, jan./mar. 2005.

GAMA, A. J. M.; KORNDORFER, G. H.; JULIATTI, F. C.; NOLLA, A.; BUCK, G. B.; ARAÚJO, L. S. Controle de doenças fúngicas na cultura do algodão com adubação de silício via solo e foliar. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC. **Resumos...** Lages-SC, 2004. 1CD-ROM.

GARCIA JÚNIOR, D., POZZA, E.A., POZZA., A.A.A., SOUZA, P.E., CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.286-291, maio-jun/2003.

GODOY, C.V. **Resultados da rede de ensaios para controle químico de doenças na cultura da soja. Safra 2003/2004**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 88p. (Documentos/Embrapa Soja).

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística operacional**. Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hort Science**, Alexandria, v.38, n.4, p.552-554, July. 2003.

HODSON, M. J.; SANGSTER, A. G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, London, v.62, n.5, p.463-471, Nov. 1988.

HUBER, D. M. **Relationship Between Mineral Nutrition of Plants and Disease Incidence**. In: Workshop – Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. Piracicaba: Potafôs, 08 e 09/05/2002, Anais e Vídeo..., CD-ROM – vídeo 01, 2002.

HUBER, D.M.; ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D. (ed). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSA, p.467-488, 1985.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.

ISK BIOSCIENSES. Bravonil: fungicida de amplo espectro. Boletim Técnico. São Paulo, ISK BIOSCIENSES.16p., 1995.

ITO, M.F.; TANAKA, M.A.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; DUDIENAS, C.; GALLO, P.B. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v.19, n.1, p.21-23, jan./mar.1993.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silicon in soils, plants and animals, **Advances in Agronomy**, New York, v. 19, p.107-149, 1967.

JOURNEL, A. G., HUIJBREBTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

JULIATTI, F. C.; RAMOS, H. F.; KORNDORFER, G. H.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; CARNEIRO, L.M.; S; LUZ, J. M. Q. Controle da queima das folhas de cenoura pelo uso do silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2003, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia, 2003. 1CD-ROM

KIMATI, H. Resistência de fungos fitopatogênicos a substâncias químicas usadas no controle de doenças de plantas. In: Congresso Paulista de Fitopatologia, 10, Piracicaba, **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 13, n. 1/2, p.72-74, jan./jun.1987

LANA, R. M. Q.; CÉSAR, E. U. R.; KORNDORFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro., **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n.2, p.708, jun.2002. suplemento 2.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo:UNESP, 1998. 226 p.

LEMES, E.; GAMA, A. J. M.; KORNDORFER, G. H.; NOLLA, A.; BITTENCOURT, M. F.; PACHECO, L. P. Eficiência do silício (NaSiO<sub>3</sub>) aplicado via foliar na nutrição de plantas de algodão. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC, **Resumos...** Lages-SC, 2004. 1CD-ROM.

LUEDDERS, V. D.; SHANNON, J. G.; BALDWIN JUNIOR., C.H. Influence of rate and source of potassium on soybean cyst nematode reproduction on soybean seedlings. **Plant Disease**, St. Paul, v.63, n.7, p.558-560, July. 1979.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (ed). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 2001. p.17-39.

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

MARSCHNER, H. Relationship between mineral nutrition and plant disease and pests. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, London, Academic Press, 1995, p.369-390.

MASCARENHAS, H.A.A.; ITO, M.F.; TANAKA, M.A. de S.; R.T.; AMBROSANO, G.M.B.; MURAOKA, T. Efeito da adubação potássica no cancro da haste da soja. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v.23, n.3-4, p.217-221, jul./Dez. 1997.

MASCARENHAS, H. A. A.; M.A.C. MIRANDA, O. C. BATAGLIA, O. TISSELI Fº, N. R. BRAGA J. SOAVE. Efeito da adubação potássica sobre o ataque da soja pelo *Diaporthe phaseolorum*. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v.2, nº 3, p.230-235, jul./set. 1976.

McBRATNEY, A. B., WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sample estimates. **Journal of Soil Science**, London, v.37, n.4, p.617-639, Dec. 1986.

McGUIRE, R.G.; KELMAN, A. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*. **Phytopathology**, St. Paul, v.76, n.4, p.401-406, Apr.1986.

McNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington, USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940p.

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

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.29, n.1, p.71-83, 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plants,. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.24, n.2, p.175-189, 1978.

MORGAN, G.D., STEVENSON, W.R., MacGUIDWIN, A.W., KELLING, K.A., BINNING, L.K., & J. ZHU. Plant pathogen Population dynamics in potato fields.. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.34, n.3, p.189-193, Sept. 2002.

MORGAN-JONES, G.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Species of *Verticillium* and *Paecilomyces* as parasites of cyst and root nematode. **Phytopathology**, St. Paul, v.74, n.7, p.831, July.1984.

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Effect of potassium silicate combine or not with systemic or protector fungicides on the control of asian soybean rust. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p.121.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2.ed. Bern, International Potash Institute, 1990. 363p.

POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n.2, p. 185-188, mar./abr. 2004.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Review of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v.58, n.2, p. 179-207, 1983.

RIBEIRO, C. A.; VARELLA, C. A. A.; JÚNIOR, D. G. S & SOARES, V. P. Sistemas de informações geográficas. 381-407. **In**: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. Del.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE,

F.X. R. do.; GOMIDE, R. L. (eds). **Agricultura de Precisão**. Viçosa, MG. 2000.467p.

RIGGS, R. D. & SCHMITT, D. P. Soybean cyst nematode. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4, 1988, Buenos Aires. **Proceedings**. Buenos Aires, Association Argentina de la Soja, 1989. p.1448-1453.

RODRIGUES, F. Á. **Fertilização silicatada na severidade da queima-das-bainhas (*Rhizoctonia solani* Kuhn) do arroz**. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUES, F.A.; DATNOFF, L. E. Silicon and Rice Disease Management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.30, n.5, p.457-469, Set/Out. 2005.

SANTOS, D. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A.A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n.6, p.582-588, nov./dez. 2005.

SHANNON, J. G.; BALDWIN, C.H.; COLLIVER, G. W.; HARTWIG, E. E. Potash fertilizer helps fight soybean cyst nematode. **Better Crops With Plant Food**, Georgia, v.61, n.4, p.566-569, 1977.

SHARMA, R. D. Manejo do nematóide de cisto da soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O NEMATÓIDE DE CISTO DA SOJA, 1, Brasília, 1993. Anais. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1994. p.113-124.

SMITH, G.J.; WIEBOLD, W.J.; NIBLACK, T.L.; SCHARF, P.C. & BLEVINS, D.G. Macronutrient concentrations of soybean infected with soybean cyst nematode. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 235, n.1, p.21-26, 2001.

SOBRINHO, R. R. L.; ARAÚJO, J. L.; RODRIGUES, T. M.; TREVISAN, D.; RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V. Crescimento da alface americana em solução nutritiva sob diferentes concentrações e formas de aplicação de silício. In: FERTBIO, 2004, Lages-SC, **Resumos...** Lages-SC, 2004. 1CD-ROM.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3ª ed, 719 p., 2004.

TIHOHOD, D.; L.C.C.B. FERRAZ; BARBOSA & C. A.VOLPE. Manejo de fitonematóides do algodoeiro. 2. Distribuição espacial das espécies. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.16, n.1, p.62-73. 1992.

TOZZI, F. A. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil 2000**, 224p. Sistemas de informação geográfica na agricultura. p.187-192, 224p, 2000.

TRANGMAR, B.B et al. Applications of geostatistic to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.45-94, 1985.

UZUMAKI, E. T. **Geoestatística multivariada**: estudo de métodos de predição. Campinas, 1994. 104p. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas.

VALENTE, J.M.G.P. **Geomatemática – Lições de Geoestatística**. 2.ed. Ouro Preto: Fundação Gorceix, 1988. 8v. 2.210p.

VIEIRA, S. R.; HALFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VOOGT, W.; SONNEVELD, C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (ed). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 2001. p.115-131.

WEBSTER, R., BOAG, B. Geostatistical analysis of cyst nematodes in soil. **Journal of Soil Science**, London, v.43, n.3, p.583-595, Sept.1992.

WALLACE, M.K., HAWKINS, D.M. Applications of Geostatistic in plant nematology. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.26, n.4, p.626-634, Dec.1994.

WRATHER, J. A.; ANAND, S.C.; DROPKIN, V. H. Soybean cyst nematode control. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, p.829-833, 1984.

WRATHER, J.A.; ANDERSON, T.R.; ARSYAD, D. M.; GAI, J.; PORTO-PUGLIA, A.; RAM, H.H.; YORINORI, J.T. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.1, p. 107-110, Jan. 1997.

YAMADA, T. **A nutrição mineral e a resistência das plantas à doenças**. Piracicaba. POTAFOS. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.72, p.1-3, dez. 1995.

YORINORI, J. T. Principais doenças da cultura da soja e suas estratégias de controle. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.2, n.2, out. p.276-277, 1995.

YORINORI, J. T. Epidemiologia, dinâmica de população e controle. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O NEMATÓIDE DE CISTO DA SOJA, 1, Brasília, 1993. **Anais**. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1994. p.65-76.

YORINOI, J. T., WILFRIDO, M.P. **Ferrugem da soja: *Phakopsora pachyrhizi* Sydow**. Londrina: Embrapa, 2002. (Folder)

YORINORI, J. T.; LAZZAROTO, J. J. Situação da Ferrugem Asiática da soja no Brasil e na América do Sul, **Documentos 236**, Embrapa, Londrina, PR, 2004. 28 p.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology on the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science**, Serie B, Hokaido, v.15, n.1, p.1-58, 1975.

ZAMBOLIN, L.; VENTURA, J.A. Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral das plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.1, p.275-318, 1993.

## **CAPÍTULO 2**

### **INTENSIDADE DA FERRUGEM DA SOJA, EM FUNÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO E CÁLCIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**



## RESUMO

PINHEIRO, J.B. **Intensidade da ferrugem da soja, em função de doses de potássio e cálcio em solução nutritiva.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Tese – Doutorado em Fitopatologia)\*

O objetivo deste trabalho foi avaliar a intensidade da ferrugem asiática em plantas de soja, em função de diferentes doses de K e Ca, aplicadas em solução nutritiva. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 25 tratamentos, 4 repetições e 2 plantas por repetição. Foi utilizado esquema fatorial 5 x 5, com 5 níveis de K (4, 5, 6, 7, 8 mmol/L<sup>-1</sup>) e 5 níveis de Ca (3, 5, 7, 9, 11 mmol/L<sup>-1</sup>). Depois de inoculadas com suspensão de  $2,0 \times 10^4$  urediniósporos mL<sup>-1</sup>, as plantas foram cobertas com saco plástico, para fazer câmara úmida e incubadas por 12 horas. As seguintes variáveis foram analisadas: porcentagem de tecido lesionado, matéria seca das raízes, caule e folhas, fotossíntese potencial e o teor de K e Ca no caule e nas folhas. A AACPS foi significativamente influenciada pela interação potássio-cálcio. Os tratamentos que apresentaram melhor resposta fotossintética à luz foram com 6 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca e 5 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca, respectivamente. Não houve diferenças significativas na interação potássio-cálcio para matéria seca da raiz, caule e folhas, nem efeito isolado dos dois nutrientes. Observou-se efeito isolado das doses de potássio para o teor de K na matéria seca do caule. As doses de cálcio influenciaram o teor de Ca nos tecidos do caule, com aumento dos teores desse elemento de acordo com o aumento desse cátion na solução. Os teores de Ca e K na matéria seca das folhas foram influenciados pelas doses de potássio na solução. Com o incremento das doses de K, houve aumento e redução linear dos teores de K e Ca respectivamente nesse órgão. Com o incremento das doses de Ca, verificou-se aumento no teor desse elemento nas folhas e redução linear dos teores de K.

---

\*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, J.B. **Intensity of soybean rust, as a function of potassium and calcium rates amended to the nutrient solution.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Thesis – Doctorate in Plant Pathology)\*

The objective of this work was to evaluate the intensity of asian rust in soybean plants as a function of different K and Ca rates, amended to the nutrient solution. The experiment was carried out in a randomized block design, with twenty five treatments, four replicates and two plants per replicate. A factorial scheme (5 x 5) was adopted with five K rates (4, 5, 6, 7, 8 mmol/L<sup>-1</sup>) and five Ca rates (3, 5, 7, 9, 11 mmol/L<sup>-1</sup>). After inoculation with a 2.0 x 10<sup>4</sup> urediniospores/mL suspension, plants were covered with a plastic bag to simulate a wet chamber and removed after 12hours. The following variables were analyzed: percent affected tissue, root, stem and leaf dry weight, potential photosynthesis and K and Ca contents in stem and leaves. The AUSPC was significantly influenced by the potassium-calcium interaction. The best photosynthetic responses to light were obtained by the K and Ca-combinations of respectively 6 and 5 mmol/L<sup>-1</sup> and 5 and 5 mmol/L<sup>-1</sup>. There were neither significant difference in the calcium-potassium interaction for root, stem and leaf dry weight nor isolated effect of both nutrients. Isolated effect of potassium rates was observed for K content in stem dry matter. The calcium rates influenced Ca content in stem tissues, within Ca rate increase in the solution. The Ca and K contents in leaf dry matter were influenced by the increase in potassium rate in the solution. As potassium rates increased, there was an increase and linear reduction respectively in K and Ca contents in this plant organ. As Ca rates in the solution increased, an accumulation in Ca in leaves and linear reduction in K contents were obtained.

---

\*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza- UFLA (Major Professor),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

Em função da fácil disseminação com o vento, a ferrugem da soja pode ser encontrada em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil, com reduções de até 75% de produtividade (Almeida et al., 2005).

Embora a pulverização de fungicidas seja a principal medida de controle da ferrugem, a nutrição mineral pode contribuir para reduzir a intensidade da doença.

Desse modo, a nutrição determina, em grande parte, a resistência ou a suscetibilidade das plantas às doenças, por interferir em suas estruturas histológicas ou morfológicas, além das funções dos tecidos em reduzir a atividade patogênica, a virulência e a habilidade do patógeno em sobreviver. A deficiência, ao redor do ponto de infecção, de nutrientes necessários para sintetizar compostos químicos e barreiras físicas, pode resultar em suscetibilidade (Marschner, 1995).

Entre os nutrientes minerais essenciais, o potássio (K) e o cálcio (Ca) apresentam grande importância em respostas de defesa de plantas a fitopatógenos. O potássio é considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, sendo a ele atribuído efeito benéfico na sanidade da maioria das espécies vegetais estudadas (Perrenoud, 1990). Esse nutriente desempenha papel fundamental em muitas reações do metabolismo. Em geral, a nutrição adequada em K resulta em menor incidência de doenças, devido ao aumento da resistência à penetração e à colonização de muitos patógenos. O potássio aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, além de promover rápida recuperação dos tecidos injuriados (Huber & Arny, 1985; Marschner, 1995). Já o Ca tem papel crítico na divisão e no desenvolvimento

celular, na estrutura da parede celular e na formação da lamela média (Huber, 2002). Muitos fungos e bactérias fitopatogênicas alcançam o protoplasma celular pela produção de enzimas pectolíticas extracelulares, como a galacturonase, que dissolvem a lamela média (McGuire & Kelman, 1986). A atividade dessa enzima é drasticamente inibida pela presença de cálcio (Marschner, 1995).

Assim, conhecer os efeitos dos nutrientes minerais sobre a intensidade da ferrugem da soja pode auxiliar a elaborar estratégias de manejo e, conseqüentemente, reduzir as aplicações de defensivos agrícolas, o custo de produção e o impacto ambiental.

Dessa forma, objetivou-se verificar o efeito do cálcio e do potássio sob a intensidade da ferrugem da soja em solução nutritiva.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia, na Universidade Federal de Lavras, a uma altitude de 918 metros, latitude Sul de 21°14' longitude Oeste 45°00', no período de fevereiro a abril de 2006.

### 2.1 Manutenção do inóculo

Sementes de soja da cultivar MG BR-46 (Conquista), suscetível à ferrugem da soja, foram semeadas em vasos plásticos contendo cinco quilos de Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf). A semeadura foi realizada manualmente, colocando-se quatro sementes por vaso e, após emergência, realizou-se desbaste, deixando-se duas plantas em cada vaso.

Trinta e cinco dias depois de emergidas, as plantas foram inoculadas com suspensão de 1 mg de urediniosporos de *P. pachyrhizi*/mL de água + tween 20 a 0,05%, preparada no momento da inoculação (Vale, 1985). A inoculação foi realizada na face inferior dos folíolos já completamente expandidos. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com saco plástico com o intuito de promover uma câmara úmida por 12 horas. Essas plantas foram mantidas em casa-de-vegetação para a coleta de urediniosporos, os quais foram armazenados em nitrogênio líquido (-196°) e utilizados posteriormente.

### 2.2 Produção das plantas de soja e solução nutritiva

As plantas foram obtidas de sementes de soja cultivar MG BR-46 (Conquista) germinadas em vermiculita. Após a emergência, as plântulas foram transferidas para bandejas com capacidade para 10 litros, contendo solução básica de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950), a 50% da força iônica (Tabela

1) e sob aeração contínua, realizada com o auxílio de um conjunto compressor, kitasato e mangueiras, nas quais permaneceram por 10 dias para adaptação.

TABELA 1. Volume de solução estoque (mL L<sup>-1</sup>) necessário para a elaboração da solução de adaptação.

Soluções estoque	Solução de adaptação
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O – [1 mol L <sup>-1</sup> ]	2,5
KNO <sub>3</sub> - [1 mol L <sup>-1</sup> ]	2,5
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O – [1 mol L <sup>-1</sup> ]	1,0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> – [1 mol L <sup>-1</sup> ]	0,5
Micronutrientes (B, Mn, Zn, Cu e Mo) <sup>1</sup>	0,5
Fe - EDTA <sup>2</sup>	0,5

<sup>1</sup> Solução coquetel completa de micronutrientes: dissolvidos separadamente 2,86 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 3,00 g MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O; 0,22g ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0,08 g CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O e 0,025 g Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O e, em seguida, misturou-se e completou-se o volume para 1000mL.

<sup>2</sup> Solução Fe-EDTA: (a) Solução A – 33,3 g de Na<sub>2</sub>-EDTA dissolvida em 500 mL de água destilada a 30°C, contendo 100,4 mL de NaOH 1 mol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>; (b) solução B – 24,9 g de FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O dissolvido em 300 mL de água destilada a 70°C, contendo 4 mL de HCl 1 mol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>; misturaram-se as soluções A e B, completou-se o volume para 1000 mL com água destilada e colocou-se sob aeração constante, por 12 horas. A solução foi acondicionada em vasilhames âmbar, recobertos por papel alumínio, para a proteção contra a luz.

Após esse período, as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade de tamanho. Duas plantas foram transplantadas por recipiente plástico com capacidade para 3,5 L, pintados com tinta reflexiva, conectados ao compressor de ar por tubos e mangueiras, com a solução de Hoagland modificado por Tuite, (1969), a 100% da força iônica com o devido tratamento, recebendo aeração constante. Os tratamentos consistiram de cinco doses de K (4, 5, 6, 7 e 8 mmol/L<sup>-1</sup>) e cinco níveis de Ca (3, 5, 7, 9 e 11 mmol/L<sup>-1</sup>) (Anexo Tabelas 12A e 13A). Três vezes por semana, realizou-se monitoramento do pH da solução nutritiva, mantendo-o entre 5,0 e 5,5 com a adição de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> ou NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água deionizada. A troca da solução nutritiva foi realizada nos diferentes tratamentos, quando a condutividade elétrica atingiu 30% do valor inicial.

### **2.3 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 25 tratamentos, 4 repetições, sendo cada recipiente plástico, com duas plantas, considerado uma unidade experimental. Foi utilizado esquema fatorial 5x5, com cinco doses de K (4, 5, 6, 7 e 8 mmol/L<sup>-1</sup>) e cinco níveis de Ca (3, 5, 7, 9 e 11 mmol/L<sup>-1</sup>).

### **2.4 Inoculação do patógeno**

Após a transferência das plantas (estádio V4 – 3ª folha trifoliada completamente desenvolvida) para solução nutritiva (100 % da força iônica), as mesmas foram inoculadas com suspensão de  $2,0 \times 10^4$  urediniosporos mL<sup>-1</sup> em dois pares de folhas trifolioladas na face inferior dos folíolos. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com saco plástico, com o objetivo de fazer uma câmara úmida e ficaram incubadas por 12 horas, sob temperatura de 22,4°C em casa-de-vegetação.

### **2.5 Avaliação da doença**

A avaliação da severidade da ferrugem iniciou-se no nono dia após a inoculação (estádio V6 – 5ª folha trifoliada completamente desenvolvida), sendo realizadas 6 avaliações semanais. A severidade foi quantificada pela porcentagem de tecido lesionado, de acordo com a escala de Bromfield (1984), em folíolos centrais de trifólios do terço médio das plantas. Para isso os folíolos foram marcados, e após seis avaliações, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença em cada tratamento (Shaner & Finney, 1977).

## **2.6 Matéria seca e análise nutricional das plantas**

Após o término das avaliações, as folhas, os caules e as raízes foram lavados em água destilada e acondicionados separadamente em sacos de papel e secos em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante. Procedeu-se à pesagem e à moagem de caule e folhas separadamente e somente pesagem das raízes. Em seguida, determinaram-se os teores de cálcio e potássio de cada amostra de caule e folhas, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), em que as amostras foram submetidas à digestão via seca. As concentrações de cálcio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica e potássio por espectrofotometria de chama.

## **2.7 Fotossíntese potencial**

Para determinar a resposta fotossintética à luz das plantas que cresceram sob os diferentes níveis de potássio (4, 5, 6, 7 e 8 mmol/L<sup>-1</sup>) e níveis de Ca (3, 5, 7, 9 e 11 mmol/L<sup>-1</sup>), a fotossíntese potencial foi determinada pelo método de evolução do oxigênio usando câmara de Clark de fase gasosa (Hansatech) e um eletrodo de oxigênio acoplado a uma caixa de controle de fluxo elétrico CB1 (Hansatech), que amplifica as correntes vindas do eletrodo, seguindo-se a metodologia utilizada por Delieu & Walker (1983), com as seguintes alterações: solução de KCl saturada e NaHCO<sub>3</sub> (1 mol.L<sup>-1</sup>). As determinações foram realizadas à temperatura constante de 24°C. O volume da câmara foi determinado utilizando-se o método de injeção (Delieu & Walker, 1981). A iluminação da câmara foi realizada utilizando-se retroprojetor que fornecia, aproximadamente, 1.200 μmoles.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), medida por quantômetro (Hansatech) na superfície superior da câmara. Para cada tratamento foram realizadas três determinações fotossintéticas (repetições), sendo cada repetição constituída por 1 folha por planta do terço médio, da qual retirou-se disco foliar de 10 cm<sup>2</sup>.



## **2.8 Análise estatística**

A análise de variância, assim como as regressões, foi realizada com o programa Sisvar<sup>®</sup> - versão 4,6 (Build 6.1), do qual foram obtidos análise de variância e ajuste de modelos, cujos resultados foram significativos, no teste F, considerando significância fixada em 5%. As variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão polinomial. Em seguida, foram plotadas as curvas e as superfícies de resposta, com seus respectivos cortes. Os pontos de máximo e ou mínimo foram obtidos a partir da derivada de primeira ordem de cada equação, as quais foram igualadas a zero.

## **2.9 Temperatura e umidade relativa do ar**

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar na casa-de-vegetação foi realizado durante toda a condução do ensaio com termohigrógrafo localizado em abrigo climatológico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Severidade

Para área abaixo da curva de progresso da porcentagem de tecido lesionado por folha (AACPS), houve interação entre as doses de K e Ca (Figura 1).

Verificou-se redução linear da AACPS com o aumento das doses de cálcio em todas as doses de K (Figura 2). Observou-se redução da AACPS de acordo com o incremento das doses de K nas doses de 5, 7 e 11 mmol/L<sup>-1</sup> de Ca (Figura 3). A menor AACPS foi observada na dose de 8 e 11 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca respectivamente, enquanto que as doses de 4 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca respectivamente, apresentaram maior AACPS (Figuras 2 e 3). A porcentagem de redução da AACPS, devido à interação potássio-cálcio, foi de 86,65%.

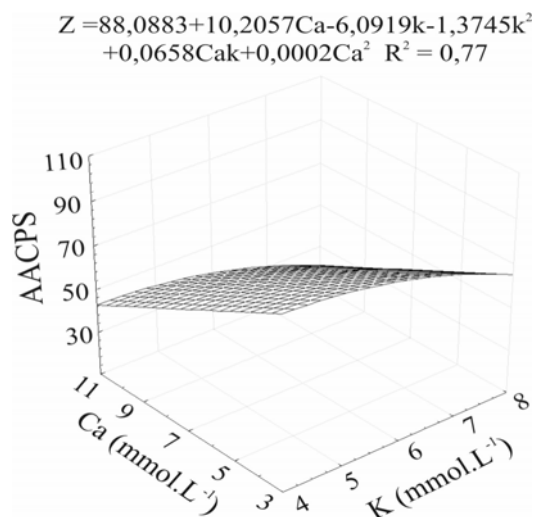


FIGURA 1. Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem asiática, em função das doses de potássio e cálcio aplicadas em solução nutritiva.

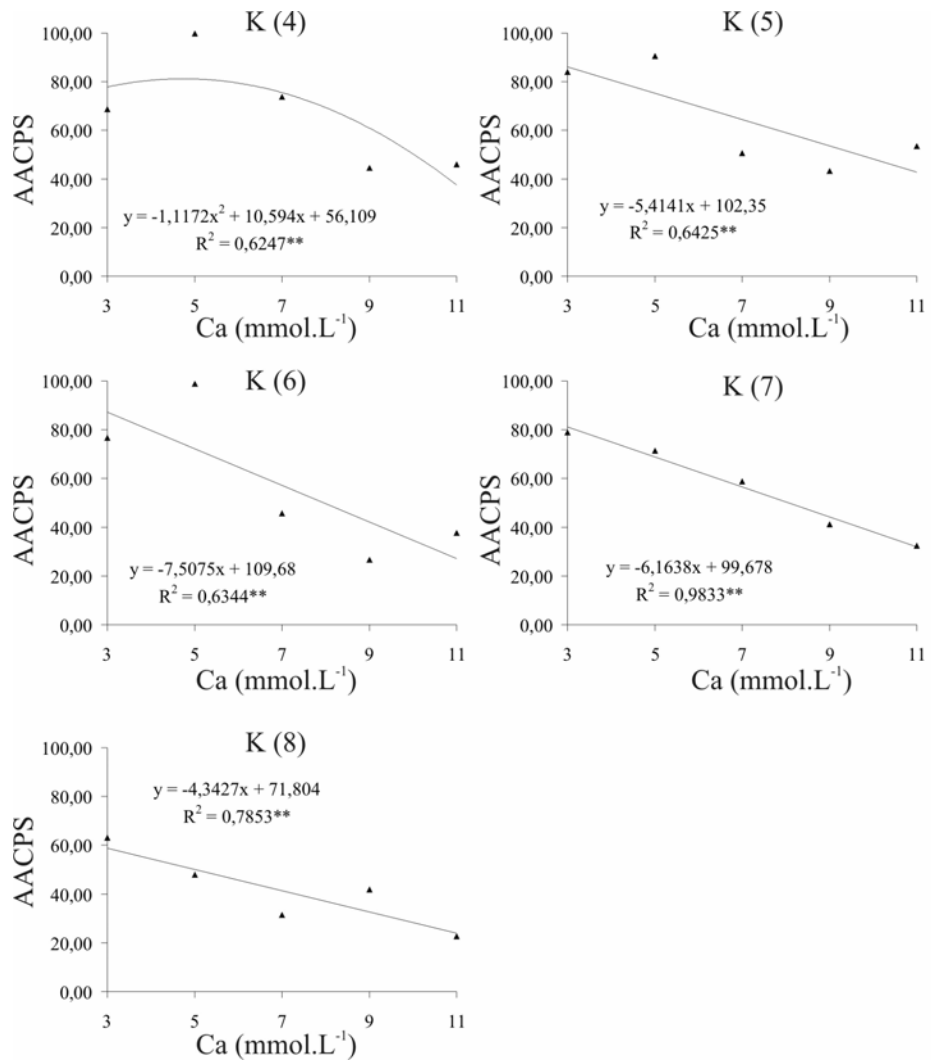


FIGURA 2. Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem asiática da soja, em função das doses de potássio em cada dose de cálcio.

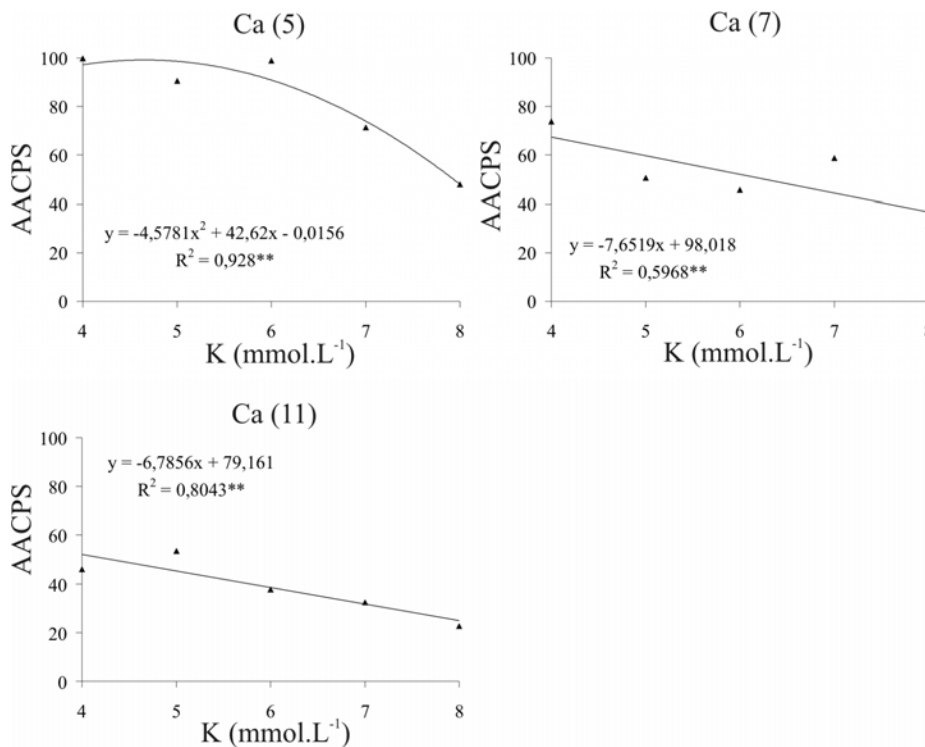


FIGURA 3. Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem asiática, em função das doses de cálcio em cada dose de potássio.

A redução da severidade da ferrugem da soja também foi constatada por Balardin et al. (2006), estudando o efeito de doses de potássio (0, 35, 70 e 140 kg.ha<sup>-1</sup>) e fósforo (0, 42,5, 85 e 170 kg.ha<sup>-1</sup>) na intensidade da ferrugem em casa-de-vegetação, observaram, no estágio fenológico V2 (1ª folha trifoliada completamente desenvolvida), que, na variação de zero para 140 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, houve redução linear na taxa de progresso de 0,43 para 0,27. No estágio R5 (início do enchimento das sementes), a amplitude da taxa de progresso foi menor, com redução de 0,37 para 0,23. Segundo os autores, a translocação dos nutrientes para os órgãos reprodutivos influenciou o progresso da doença. A

influência do K foi mais pronunciada que a do P, quando observadas baixas severidades e taxa de progresso da ferrugem. Segundo os mesmos autores a maior disponibilidade do K na solução do solo fez com que este nutriente fosse mais facilmente absorvido pelas raízes em relação ao P que reage mais facilmente com as partículas do solo, ficando menos disponível na solução. A adubação equilibrada entre P e K produziu os melhores resultados. A menor severidade foi observada na maior quantidade de K adicionado ao solo ( $140 \text{ kg.ha}^{-1}$  de K), com redução de 71,84% e 70,63%, nos estádios de desenvolvimento da cultura V2 e R5, respectivamente. A redução da intensidade da doença decorrente dos níveis de K aplicados está relacionada com o papel deste elemento nas diversas funções da planta. Em geral, o K confere maior resistência aos tecidos, atuando na redução do potencial de inóculo e promovendo rápida recuperação das injúrias.

Existem relatos do efeito do potássio também em outros patossistemas. De acordo com Garcia Júnior et al. (2003), avaliando a intensidade da cercosporiose do cafeeiro em mudas, em função do suprimento de K (1, 3, 5 e 7  $\text{mmol/L}^{-1}$ ) e Ca (2, 4, 6 e 8  $\text{mmol/L}^{-1}$ ) em solução nutritiva, a área abaixo da curva de progresso do total de lesões (AACPTL) foi significativamente influenciada pelo incremento das doses de K e de Ca e também pela interação entre os dois nutrientes. A menor AACPTL foi obtida com as doses 7  $\text{mmol/L}^{-1}$  de K e 6,35  $\text{mmol/L}^{-1}$  de Ca. A redução da AACPTL com o aumento das doses de Ca evidenciou a importância deste nutriente na constituição da lamela média celular. Em relação ao K, esse resultado discorda daquele encontrado por Alexandre Pozza (1999), que obteve a menor AACPTL com a menor dose deste nutriente. Neste caso, provavelmente, o K, em altas concentrações, interferiu na absorção do nitrogênio e do Ca pela planta, tornando-a mais suscetível a cercosporiose.

Segundo Ito et al. (1993), o uso da fertilização adequada em potássio constitui-se em fator que, aliado à resistência varietal, a técnicas culturais e de proteção de plantas, reduziu linearmente o nível da intensidade da queima foliar da soja (*C. kikuchii*), de acordo com o aumento das doses de K de 0 para 600 kg/ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, embora não tenha sido observada relação com outros nutrientes.

Entretanto, Theodoro & Maringoni (2006), avaliando o efeito de doses de potássio (45, 67,5, 90, 112,5 e 135 kg.ha<sup>-1</sup> de k<sub>2</sub>O) na severidade da murcha-de-curtobacterium em feijoeiro, em casa-de-vegetação, verificaram que não houve influência das doses de K<sub>2</sub>O na área abaixo da curva de progresso da doença. Apesar de o K ser frequentemente associado à redução da intensidade de doenças de plantas, esse efeito não pode ser generalizado, pois pode variar em função da sua disponibilidade no solo e da interação com outros nutrientes, das condições ambientais, da suscetibilidade da planta e do patógeno envolvido. Outro aspecto é que, segundo Marschner (1995), o efeito do K na redução de doenças ocorre em plantas com deficiência deste nutriente, podendo não ser notado em plantas suficientemente nutridas com K, mesmo com o aumento da adubação. Assim, na maioria dos casos, o efeito do potássio está confinado à faixa de deficiência. Em plantas deficientes, a síntese de compostos de alto peso molecular (proteínas, amido e celulose) é impedida e acumulam-se compostos orgânicos de baixo peso molecular. Na faixa de deficiência, a elevação no suprimento de potássio leva ao decréscimo no conteúdo de compostos orgânicos de baixo peso molecular e aumenta o desenvolvimento da planta até um ponto máximo, em que o aumento adicional no nível de potássio não tem efeito substancial nos compostos orgânicos e, provavelmente, também não afeta a resistência da planta aos patógenos. Na faixa de deficiência, ao desenvolvimento induzido pela elevação de potássio causa decréscimos não específicos no conteúdo de outros elementos minerais (efeito de diluição) (Marschner, 1995).

Em relação ao Ca, a redução da severidade de doenças com a utilização deste nutriente também foi evidenciada por Edgington & Walker (1958), que estudaram o efeito do cálcio, em solução nutritiva, na murcha de fusarium em plantas de tomate e verificaram redução na severidade da doença com o aumento da concentração deste nutriente na solução de 5 para 500 mg.L<sup>-1</sup>. Corden (1965) também observou comportamento semelhante no mesmo patossistema. Segundo o autor, as reduzidas concentrações de Ca<sup>2+</sup> presentes nos tecidos vegetais não foram capazes de inibir a atividade da poligalacturonase produzida pelo patógeno. A presença de cátions Ca<sup>2+</sup> no tecido foliar, respeitando a quantidade ideal de K no conteúdo celular, inibe drasticamente a ação de enzimas pectolíticas produzidas por muitos parasitas de etiologia fúngica, cuja função é dissolver a lamela média da parede celular. Além disso, na própria lamela média, na superfície externa da membrana plasmática, no retículo endoplasmático e nos vacúolos são encontradas altas concentrações de Ca, comprovando a sua importância para a integridade dos tecidos vegetais (Marschner, 1995).

### **3.2 Fotossíntese potencial**

Na avaliação da fotossíntese potencial das plantas que cresceram sob os diferentes níveis de K e de Ca, os tratamentos que apresentaram melhor resposta fotossintética à luz, foram os com 6 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca e 5 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca, respectivamente. Para os demais tratamentos, não houve diferenças significativas (Figura 4).

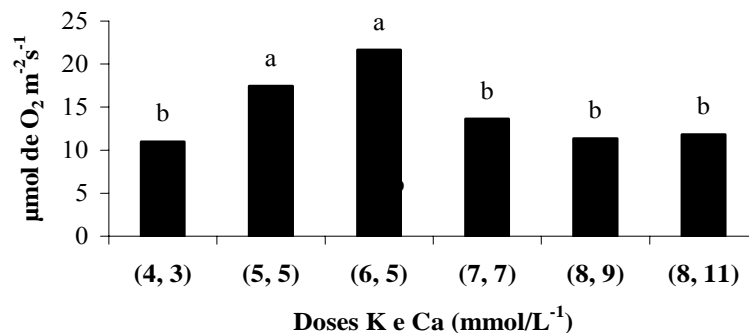


FIGURA 4. Fotossíntese potencial de plantas de soja inoculadas com esporos de *P. pachyrhizi*, em função de doses de potássio e cálcio em solução nutritiva. Média seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott à 5% de probabilidade.

Entretanto, estes tratamentos apresentaram maiores valores de severidade (2,82% e 2,57% de tecido lesionado respectivamente) em relação aos demais (1,72%; 1,19% e 0,71% de tecido lesionado para 7 e 7; 8 e 9; 8 e 11 mmol/L<sup>-1</sup> de K e Ca, respectivamente). Uma possível explicação para a maior fotossíntese potencial observada nestes tratamentos, com maior porcentagem de severidade, pode ser devido ao fato de que, mesmo com valores maiores de severidade, houve efeito compensatório, pois as doses de Ca e K para estes tratamentos estavam em níveis adequados. O K, em níveis adequados, regula a abertura e o fechamento dos estômatos nas células-guarda e a turgidez do tecido, criando condições favoráveis para as reações da fotossíntese e outros processos metabólicos (Sfredo & Panizzi, 1990).

Também, como regulador móvel da atividade de enzimas, o K está envolvido essencialmente em todas as funções celulares, incluindo fosforilação, síntese de proteínas, translocação, redução de nitratos e fotossíntese. Provavelmente, o nível balanceado de K induziu engrossamento da parede



celular, acúmulo de aminoácidos e produção de novos tecidos, com maior densidade estomática; ocorreu maior assimilação de CO<sub>2</sub>, favorecendo positivamente a fotossíntese potencial. Este nível depende da disponibilidade de magnésio e cálcio (Huber, 2002), presentes em doses adequadas nestes tratamentos. O potássio, quando disponibilizado para a planta em níveis adequados, não compete com os demais nutrientes nos tecidos foliares, muitos dos quais são essenciais para o processo de fotossíntese.

### **3.3 Características agronômicas**

#### **3.3.1 Matéria seca das raízes, caule e folhas**

Não houve diferenças significativas na interação potássio-cálcio para matéria seca da raiz, caule e folhas. Também não se observou efeito isolado das doses de K e Ca para estas variáveis (anexo Tabela 2 A). Este resultado, provavelmente, pode ser explicado pelo fato de que a colheita das plantas para a obtenção da matéria seca foi realizada entre o florescimento e o início da formação de vagens, aos 52 dias após a montagem do experimento (estádio R2-R3), e em média, a idade das cultivares de soja onde o crescimento é acelerado, geralmente ocorre aos 61 dias e o ponto de maior acúmulo de matéria seca ocorre aos 96 dias após a emergência (Sfredo & Panizzi., 1990).

Resultados semelhantes foram obtidos por Ventura (1987), que não verificou respostas significativas da soja com relação à altura das plantas e a produção de matéria seca das folhas e caules, quando diferentes doses de K (117, 234 e 351 mg.dm<sup>-3</sup>), Ca (100, 200 e 300 mg.dm<sup>-3</sup>) e Mg (24, 48 e 72 mg.dm<sup>-3</sup>) foram aplicadas no substrato.

Apesar da elevada exigência em K, foram verificados poucos trabalhos nos quais observaram-se respostas à adubação potássica em relação à matéria seca. Os fatores que determinaram a ausência deste efeito foram relacionados ao tipo de solo, ao nível do nutriente no solo, à exigência nutricional do cultivar e

do tempo de duração reduzido dos experimentos, além da aplicação inadequada do fertilizante (Yamada & Borkert, 1992).

Assim, a resposta ao K na produção vegetativa, geralmente, ocorre em solos com reduzida disponibilidade do elemento. Contudo, devido à grande capacidade da soja em extrair K do solo, a produção de material seco pode não ser ampliada pela adubação potássica, mesmo naqueles solos com reduzida disponibilidade do nutriente (Rosolem et al., 1993).

### **3.4 Variáveis nutricionais**

#### **3.4.1 Cálcio (Ca)**

O teor de Ca no caule e nas folhas apresentou respostas semelhantes com o incremento das doses de Ca. Houve aumento no teor desse cátion no caule e folhas de acordo com incremento das doses de Ca (Figura 5 A e 5 B). Este resultado era esperado, pois, aumentando-se as doses de Ca na solução nutritiva, aumentou-se o teor nas folhas e no caule desse elemento.

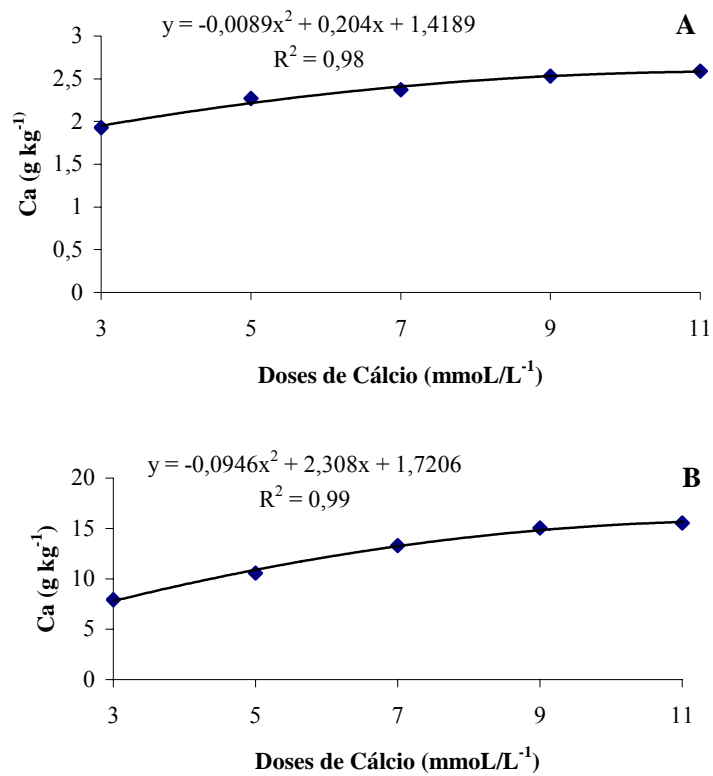


FIGURA 5. Teor de cálcio em plantas de soja, em função das doses de cálcio em solução nutritiva. A: caule; B: folhas

Para as doses de K, o teor de Ca foi afetado somente para os tecidos foliares. Houve resposta linear decrescente de acordo com o incremento das doses de potássio de 4 para 8 mmol/L<sup>-1</sup> na solução (Figura 6).

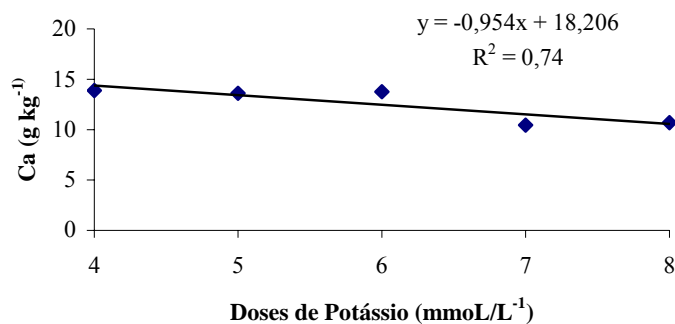


FIGURA 6. Teor de cálcio em folhas de plantas de soja, em função das doses de potássio em solução nutritiva

Essa redução pode ser explicada pela competição entre estes dois cátions pelo mesmo sítio de absorção das raízes. Na literatura, encontram-se informações de que o equilíbrio entre os nutrientes K e Ca é importante na nutrição das plantas, verificando-se antagonismo entre os mesmos, de tal forma que um desequilíbrio de concentração provoca influências recíprocas em termos de disponibilidade no solo, absorção e translocação na planta (Garcia Júnior et al., 2003; Malavolta, 2006; Marschner, 1995).

Assim, Ventura (1987) verificou que doses de 117 e 234 mg.dm<sup>-3</sup> de K, aplicadas no substrato, tiveram efeito na concentração de Ca, tanto nas folhas superiores como nas folhas inferiores. No entanto, pode-se verificar que a adição da maior dose de K na solução nutritiva induziu redução na concentração de Ca na matéria seca das folhas superiores e inferiores, provavelmente por antagonismo. A adição de K no substrato provocou redução na concentração de Ca na matéria seca dos caules. A competição, entre Ca e K, pelos mesmos sítios de absorção das estruturas orgânicas, as quais funcionam como moléculas transportadoras no processo de absorção ativa, foi sugerida por Welte & Werner (1963) para explicar o antagonismo fisiológico entre Ca e K.

### 3.4.2 Potássio (K)

Os teores de K nos tecidos do caule e folhas foram afetados significativamente com o incremento das doses de K. No caule, observou-se aumento no teor de K com o incremento das doses desse elemento na solução (Figura 7 A). Comportamento semelhante foi observado nas folhas, em que houve ligeiro aumento linear no teor de K com o incremento das doses deste elemento de 4 para 8 mmol/L<sup>-1</sup> na solução (Figura 7 B). Este resultado era esperado, pois, com o incremento das doses de K na solução nutritiva, aumentou-se o teor foliar deste nutriente.

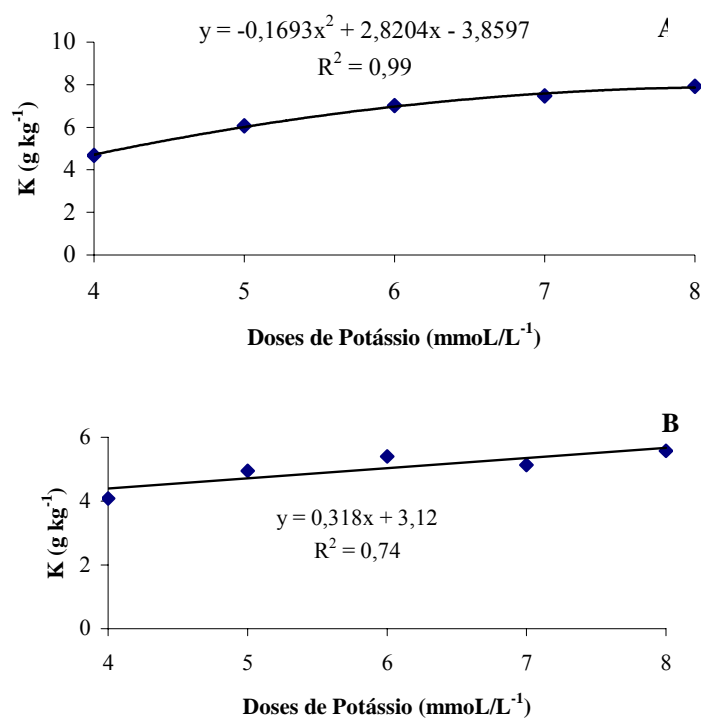


FIGURA 7. Teor de potássio em plantas de soja, em função das doses de potássio em solução nutritiva. A: caule; B: folhas.

Resultado semelhante foi obtido, em outro patossistema, por Alexandre Pozza et al. (2001), no estudo da influência da adubação nitrogenada (3, 7, 11 e 15 mmol/L<sup>-1</sup>) e potássica (3, 5, 7, 9 mmol/L<sup>-1</sup>) na intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro. Foi observado, com o aumento das doses de potássio e redução das doses de nitrogênio, aumento do teor foliar de potássio. Da mesma forma, com o aumento das doses de nitrogênio e redução das doses de potássio, ocorreu a redução no teor foliar de potássio. Segundo a autora, o resultado era esperado, pois, aumentando-se as doses de potássio na solução nutritiva, aumentou-se o teor foliar desse nutriente.

Para as doses de cálcio, o teor de potássio foi afetado somente para os tecidos das folhas. Houve redução linear de acordo com o incremento das doses de cálcio de 3 para 11 mmol/L<sup>-1</sup> na solução (Figura 8), evidenciando, assim, a competição destes dois cátions pelo mesmo sítio de absorção nas raízes.

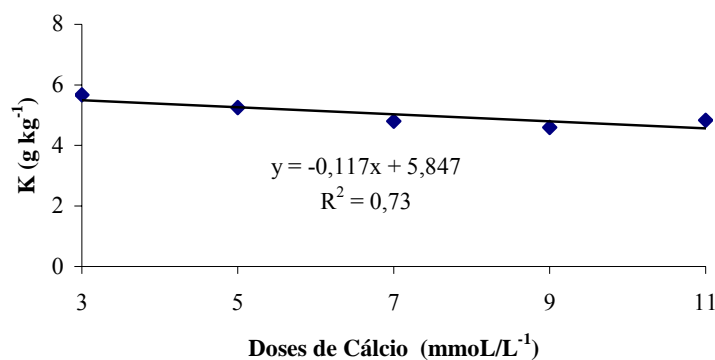


FIGURA 8. Teor de potássio nas folhas, de soja em função das doses de cálcio em solução nutritiva

O antagonismo entre estes dois cátions também foi observado por Oliveira (2000), no período de florescimento da soja. Os teores de K, Ca e Mg nas folhas foram influenciados significativamente pela aplicação de calcário. Enquanto os teores de Ca e Mg foram aumentados, o teor de K foi reduzido. O mesmo autor, com o objetivo de estudar a nutrição potássica da soja em relação à variação dos teores de Ca e Mg do solo, observou que a interação das doses de calcário e K aplicadas influenciou significativamente o teor de K nas folhas na época de florescimento. Os maiores teores foliares de K foram verificados na ausência de calagem, independente do nível de K aplicado.

Segundo Malavolta (2006), o efeito do Ca, aumentando ou diminuindo a absorção do K, está na dependência da relação Ca/K na solução externa. Sempre que a relação é alta, há antagonismo e a absorção de K diminui.

### **3.5 Dados climáticos**

As condições climáticas durante a condução do experimento foram favoráveis para o progresso da ferrugem em casa-de-vegetação. Observou-se umidade relativa e temperatura média, durante todo experimento de 71,2% e 25°C, respectivamente. A temperatura média máxima foi em torno de 30,4°C e a média mínima de 19,7°C (Figura 9).

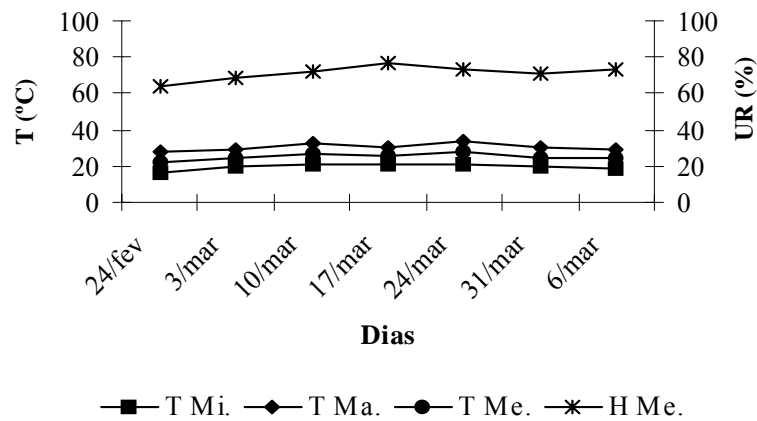


FIGURA 9. Variação da temperatura (T) e da umidade relativa do ar (UR) em casa-de-vegetação, durante condução do ensaio.

Para que se desenvolva epidemia severa é necessário período de molhamento foliar de, aproximadamente, 10 horas por dia e temperaturas de 18°C a 26°C. Temperatura acima de 30°C e abaixo de 15°C e seca retardam o progresso da doença (Reis & Bresolin, 2004).

O progresso da ferrugem da soja com diferentes regimes de temperaturas foi avaliado, em casa-de-vegetação por Kochman (1979). Este autor observou que a ferrugem da soja progride numa ampla faixa de temperatura, sendo que a faixa de 17°C a 27°C, foi a mais favorável.



## 4 CONCLUSÕES

A AACPS, foi significativamente influenciada pela interação potássio-cálcio.

Os tratamentos que apresentaram melhor resposta fotossintética à luz foram aqueles com 6 e 5; 5 e 5 mmol/L<sup>-1</sup> de potássio e cálcio, respectivamente.

Não houve diferenças significativas na interação potássio-cálcio para matéria seca da raiz, caule e folhas e nem efeito isolado dos dois nutrientes.

As doses isoladas de Ca e K proporcionaram aumentos nos teores desses elementos na matéria seca do caule de acordo com o incremento das doses de Ca e K respectivamente.

Os teores de Ca e K foram influenciados pela doses de potássio nos tecidos da matéria seca foliar. Com o incremento das doses de K na solução, houve aumento e redução linear dos teores de K e Ca, respectivamente. Com o incremento das doses de Ca, verificaram-se aumento no teor desse elemento e redução linear dos teores de K.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J.F.V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L.M. & MEYER, M.C. Doenças da soja, cap. 64, p.569-596 In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A.M.; BERGAMIN FILHO, A. & CAMARGO, L. E. A (ed). **Manual de Fitopatologia**, v.2, 4ªed, 663p, 2005.

BALARDIN, R. S., DALLAGNOL, L. J., DIDONÉ, H. T.; NAVARINI, L. Influência do Fósforo e do Potássio na Severidade da Ferrugem da Soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, n.4, p.462-467, jul./ago. 2006.

BROMFIELD, K. R. **Soyben Rust**. Minnesota: The American Phytopathological Society - Monograph nº 11, 1984. 65 p

CORDEN, C. E. Influence of calcium nutrition on Fusarium wilt of tomato and polygalacturonase activity. **Phytopathology**, St. Paul, v.55, p.222-224, 1965.

DELIEU, T; WALKER, D. A. Polagraphic measurement of photosynthetic oxygen evolution by leaf discs. **New Phytologist**, Cambridge, 89, n.2, p.165-178, 1981.

DELIEU, T; WALKER, D. A. Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. **Plant Physiology**, Rockville, 73, n.3, p.534-541, 1983.

EDGINGTON, L. V; WALKER, J. C. Influence of calcium and boron nutrition on development of Fusarium wilt of tomato. **Phytopathology**, St. Paul, v.48, n.6, p.324-326, June.1958.

GARCIA JÚNIOR, D., POZZA, E.A., POZZA., A.A.A., SOUZA, P.E., CARVALHO, J.G. & BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n. 3, p.286-291, maio./jun. 2003.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University Of California, 1950. 32p.

HUBER, D. M. **Relationship Between Mineral Nutrition of Plants and Disease Incidence**. In: Workshop – Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. Piracicaba: Potafôs, 08 e 09/05/2002, Anais e Vídeo..., CD-ROM – vídeo 01, 2002.

HUBER, D.M. & ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D (ed.) **Potassium in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSA, 1985. p. 467-488.

ITO, M. F.; TANAKA, M. A.S.; MASCARENHAS, H. A.A.; TANAKA, R. T.; DUDIENAS, C.; GALLO, P. B. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 19, n.1, p.21-23, jan./mar. 1993.

KOCHMAN, J. K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) **Australian Journal Agricultural Research**, Colingwood, v. 30, n.2, p.273-277, 1979.

McGUIRE, R. G. & KELMAN, A. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 76, nº4, p.401-406, Apr. 1986.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª. Ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

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

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

OLIVEIRA, F.A. de. **Calagem e Adubação Potássica em soja cultivada em casa-de-vegetação**. Piracicaba: USP, 69p, 2000 (Tese Doutorado)

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2.ed. Bern, International Potash Institute, 1990. 363p.

POZZA, A. A. A., MARTINEZ, H. E. P., POZZA, E. A., CAIXETA, S. L. & ZAMBOLIM, L. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 26, n.1, p. 29-33, jan./mar. 2001

REIS, E. M.; & BRESOLIN, A.C. R. Ferrugem da soja: revisão e aspectos técnicos, p. 55-70. In: REIS, E. M. et al. **Doenças na cultura da soja**, Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, 178p., 2004.

ROSOLEM, C.A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H.F.M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.1045-1054, set. 1993.

SFREDO, G. J.; PANIZZI, M.C.C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina, EMBRAPA, CNPSo, 57 p., 1990. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 40).

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow- mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.70, n.8, p.1183-1186, Aug. 1977.

THEODORO, G. F.; MARINGONI, A.C. Efeito de doses de potássio na severidade da murcha-de-curtobacterium em cultivares de feijoeiro comum. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.32, n.2, p.139-146, abr./jun. 2006.

TUITE, J. **Plant pathological methods: fungi and bactéria**. Minneapolis: Burgess, 1969. 239p.

YAMADA, T.; BORKERT, C. M. Nutrição e produtividade da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 1, Piracicaba, 1992. **Anais**. Piracicaba: CÂMARA, G.M. de S.; MARCOS FILHO, J.; OLIVEIRA, E.A.M. de (eds). Depto Agricultura, ESALQ/USP; FEALQ, 1992. P.180-212.

VALE, F. X. R. do. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) da soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1985. 104p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VENTURA, C. A. D'O. **Níveis de potássio, cálcio e magnésio em solução nutritiva influenciando o crescimento e composição da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], cultivar Paraná**. Piracicaba: Esalq-USP, 65p., 1987. (Tese de Doutorado)

## **CAPÍTULO 3**

### **MANEJO DA FERRUGEM DA SOJA COM FUNGICIDAS E SILÍCIO**

## RESUMO

PINHEIRO, J.B. **Manejo da ferrugem da soja com fungicidas e silício.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Tese – Doutorado em Fitopatologia)\*

Dois ensaios em campo foram conduzidos para avaliar a associação de fungicidas sistêmicos e protetores com silício e investigar o número de aplicações e doses de chlorothalonil na redução da intensidade da ferrugem da soja. No primeiro ensaio, com o objetivo de estudar a associação de fungicidas e silício na redução da intensidade da ferrugem da soja, o delineamento foi em blocos ao acaso, com 9 tratamentos e 4 repetições. Os seguintes tratamentos foram avaliados: 1-testemunha; 2-silicato de sódio; 3-silicato de cálcio; 4-chlorothalonil; 5-chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações); 6-chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações); 7-pyraclostrobin + epoxiconazole; 8-pyraclostrobin + epoxiconazole+ KCl e 9-pyraclostrobin + epoxiconazole + chlorothalonil. Para AACPI, todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha. Em relação à AACPS, os melhores tratamentos foram: chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações). Houve correlação negativa para a intensidade da ferrugem com a produção de soja. No segundo ensaio, com o objetivo de investigar o efeito do número de aplicações e doses de chlorothalonil na intensidade da ferrugem da soja, o delineamento foi em blocos ao acaso, seguindo o esquema fatorial 4x3+2, com quatro número de aplicações (1, 2, 3 e 4 ), três dosagens (25%, 50% e 100% da dosagem do p.c) e dois adicionais (testemunha e pyraclostrobin + epoxiconazole aplicado nos estádios R2 e R6 ). As menores AACPI e AACPS foram observadas quando as plantas foram submetidas a três e quatro aplicações de chlorothalonil. Observou-se menor AACPS na dosagem de 100% do produto comercial. Não houve correlação significativa da produção com a severidade para o número de aplicações e dosagens. Para a variável AACPS, uma e duas aplicações de 25% não diferiram estatisticamente da testemunha. Os tratamentos: duas aplicações de 50% e três e quatro aplicações de 25%, 50% e 100%, não diferiram estatisticamente do adicional padrão pyraclostrobin + epoxiconazole. Para a variável AACPI, uma e duas aplicações de 25%, 50% e 100% e três aplicações de 50% não diferiram estatisticamente da testemunha e nenhum tratamento diferiu estatisticamente de pyraclostrobin + epoxiconazole.

---

\*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador),  
Janice Guedes de Carvalho – UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, J.B. **Soybean rust management with fungicides and silicon.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Thesis – Doctorate in Plant Pathology)\*

Two field trials were carried out to evaluate the association of systemic and protectant fungicides with silicon and investigate the number and rates of chlorothalonil on the reduction of soybean rust intensity. The first assay, aimed to study the association of fungicides and silicon on the reduction of soybean rust intensity, the experiment was set in a randomized block design with 9 treatments and four replicates. The following treatments were evaluated: 1-control; 2-sodium silicate; 3-calcium silicate; 4-chlorothalonil; 5-chlorothalonil + sodium silicate (2 sprays); 6-chlorothalonil + sodium silicate (3 sprays); 7-pyraclostrobin + epoxiconazole; 8-pyraclostrobin + epoxiconazole + potassium chloride (KCl) and 9-pyraclostrobin + epoxiconazole + chlorothalonil. For AUIPC, all treatments were significantly different from the control. In regard to AUSPC, the best treatments were chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + sodium silicate (3 sprays), KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) and chlorothalonil + sodium silicate (2 sprays). There was a negative correlation between rust intensity and yield. The second assay, aimed to study the number of sprays and rates of chlorothalonil on soybean rust intensity, a randomized block design in a factorial scheme (4x3+2) was used with four number of sprays (1, 2, 3 and 4) and three chlorothalonil rate (25%, 50% and 100% the commercial product), a positive (pyraclostrobin + epoxiconazole sprayed twice at R2 and R6 plat cycle) and a negative control (untreated) were included as additional treatments. The lower AUIPC and AUSPC were observed when plants were submitted to three and four chlorothalonil sprays. A lower AUSPC was observed when 100% the recommended rate for the commercial product. No significant correlation was observed between yield and severity for the number of sprays and rates. For AUSPC, one and two sprays of 25% were not significantly different from the negative control. The treatments: two sprays of 50% and three and four sprays of 25%, 50% and 100%, was not significantly different from the positive control. For AUIPC, one and two sprays of 25%, 50% and 100% and three sprays of 50% were not statistically different from the negative control and no treatment statistically different from the positive control.

---

\*Guidance committee: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Major Professor),  
Janice Guedes de Carvalho – UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a ferrugem asiática tornou-se problema relevante para o agronegócio dos principais países produtores de soja da América do Sul, onde destaca-se o Brasil. Isso porque pode causar perdas acentuadas na produção, com reflexos negativos na rentabilidade do produtor de soja e na própria economia desses países (Yorinori e Lazzarotto, 2004).

Existem poucos estudos referentes ao manejo da ferrugem e ainda não há registros de fungicidas protetores do grupo dos cúpricos, ditiocarbamatos e ftalonitrilas, eficazes no controle da ferrugem da soja. Conseqüentemente, o controle limita-se à aplicação de fungicidas, principalmente do grupo dos triazóis e das estrobilurinas. Apesar de eficazes, na maioria das vezes, são necessárias duas ou mais pulverizações, aumentando os custos de produção. Além disso, o uso constante desses fungicidas com modos de ação específicos podem favorecer a seleção de populações resistentes do patógeno, sendo necessário alternar produtos com diferentes mecanismos de ação e desenvolver outras estratégias no controle da doença (Kimati, 1987). Na redução do número de aplicações de fungicidas, pode-se fornecer à planta nutrição mineral equilibrada, na tentativa de constituir e incrementar mecanismos de defesa. Assim, a nutrição mineral pode auxiliar no manejo da doença. Dentre os elementos minerais, o Si destaca-se por reduzir a severidade de doenças em vários patossistemas (Epstein, 1999).

Existem relatos da eficiência do Si em associação com fungicidas na redução de doenças, como oídio em abóbora, brusone em grama santo-agostinho e ferrugem da soja (Brecht et al., 2004; Heckman et al.; 2003; Nascimento et al., 2005).



Diante disso, o objetivo desse trabalho foi estudar a associação de fungicidas e silício e o efeito do número de aplicações e doses de chlorothalonil na intensidade da ferrugem asiática em plantas de soja.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram instalados e conduzidos em lavoura de soja localizada no Município de Araxá, MG, na Fazenda Muro de Pedra, a uma altitude de 973 m, latitude Sul de 19°22', longitude Oeste 46°51' (GPS Garmin), no período de novembro de 2004 a abril de 2005.

### **2.1 Instalação e condução dos ensaios**

Sementes de soja cultivar BRS/MG – 68 (Vencedora), suscetível à ferrugem da soja, foram semeadas em 18 de novembro de 2004, no campo, em espaçamento de 0,5 m, em sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) cujos atributos de fertilidade estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Atributos químicos e físicos do solo onde foram conduzidos os experimentos. Laboratório de Análise de Solos. DCS/UFLA, 2005.

Atributos	To
pH	5,7
Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,2
H + Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	3,2
SB (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2,5
T (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	5,7
t (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2,7
V (%)	43,8
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,7
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	75,0
Ca <sup>+2</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1,2
Mg <sup>+2</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1,1
MO (dag/kg <sup>-1</sup> )	2,9
P-rem (mg/L <sup>-1</sup> )	11,5
Zn (mg.dm <sup>-3</sup> )	2,4
Fe (mg.dm <sup>-3</sup> )	46,3
Mn (mg.dm <sup>-3</sup> )	24,6
Cu (mg.dm <sup>-3</sup> )	2,7
B (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,0
S (mg.dm <sup>-3</sup> )	12,8
Si (mg.dm <sup>-3</sup> )	6,6
Areia grossa (dag/kg <sup>-1</sup> )	18,5
Areia fina (dag/kg <sup>-1</sup> )	32,7
Silte (dag/kg <sup>-1</sup> )	20,0
Argila (dag/kg <sup>-1</sup> )	28,8

pH em água, kCl e CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; P e K- extrator mehlich 1; Ca, Mg e Al-extrator KCl 1N; H + Al: extrator SMP; SB= soma de bases trocáveis; CTC (t)= capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T)= capacidade de troca catiônica a Ph 7,0; V=índice de saturação por bases; Mat. Org. (MO) – oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; Si – extrator ácido acético

### 2.1.1 Experimento 1

Trinta dias após a semeadura foi instalado o experimento 1, em que as parcelas constituíram-se de cinco fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m entre linhas (12,5 m<sup>2</sup> de área total). Como área útil foram consideradas as três fileiras centrais, após a retirada de 0,5m como bordadura, em cada uma das extremidades, perfazendo uma área útil de 6,0 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental

foi em blocos casualizados, com 9 tratamentos (Tabela 2) e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída de dez plantas por parcela, escolhidas aleatoriamente.

TABELA 2. Tratamentos e épocas de aplicação das diferentes combinações de fungicidas protetores, sistêmicos e silício.

Tratamentos	Épocas de aplicação	Dosagens
silicato de sódio	V4, V6 e R2	1g/L p.a
silicato de cálcio	V4, V6, R2	1g/L p.a
chlorothalonil <sup>1</sup>	V4 e R2	1050 g de ia/ha <sup>-1</sup>
chlorothalonil <sup>1</sup> + silicato de sódio	V4 e R2	1050 g de ia/ha <sup>-1</sup> + 1g/L p.a
chlorothalonil <sup>1</sup> + silicato de sódio	V4, R2 e R4	1050 g de ia/ha <sup>-1</sup> + 1g/L p.a
pyraclostrobin + epoxiconazole	R2 e R4	79,8 + 33 g ia/ha <sup>-1</sup>
KCl e (pyraclostrobin + epoxiconazole)	(V4 e V6) e (R2 e R4)	1g/L p.a + (79,8 + 33g de ia/ha <sup>-1</sup> )
chlorothalonil e pyraclostrobin + epoxiconazole	V4 e R2	1050 g de ia/ha <sup>-1</sup> + (79,8 + 33g + 33g de ia / ha <sup>-1</sup> )
testemunha	-	-

OBS: <sup>1</sup>Concentração de 750 g de chlorothalonil/kg<sup>-1</sup> de produto comercial); <sup>4</sup>V4 = 3<sup>a</sup> folha trifoliada completamente desenvolvida; V6 = 5<sup>a</sup> folha trifoliada completamente desenvolvida; R2 = pleno florescimento; R4 = pleno enchimento das vagens

### 2.1.2 Experimento 2

Trinta dias após a semeadura, foi instalado o experimento 2. As parcelas constituíram-se de quatro fileiras de 4,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m entre linhas (8 m<sup>2</sup> de área total). Como área útil foram consideradas as duas fileiras centrais, após a retirada de 0,5m como bordadura, em cada uma das

extremidades, perfazendo uma área útil de 3 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 4x3+2 tratamentos adicionais, com quatro números de aplicações (1,2,3 e 4), três dosagens (25%, 50% e 100% da dosagem do p.c recomendada para a cultura) e dois adicionais (testemunha e pyraclostrobin + epoxiconazole 79,8 + 33g ia/ha aplicado nos estádios R2 e R4) (Tabela 3). A unidade experimental foi constituída de cinco plantas por parcela, escolhidas aleatoriamente.

TABELA 3. Tratamentos e épocas de aplicação do fungicida chlorothalonil.

<sup>2</sup> dosagens (%)	<sup>1</sup> nº de aplicações			
	1	2	3	4
25	<sup>4</sup> V4	V7	R2	R4
50	V4	V7	R2	R4
100	V4	V7	R2	R4
tratamentos adicionais				
testemunha	sem aplicação			
<sup>3</sup> pyraclostrobin + epoxiconazole	R2 e R4			

OBS: <sup>1</sup>Intervalo de aplicação: 20 dias; <sup>2</sup>Concentração de 750 g de chlorothalonil/kg<sup>-1</sup> de produto comercial; <sup>3</sup> dosagem aplicada: 79,8 + 33 g.ia /ha<sup>-1</sup>. <sup>4</sup>V4 = 3<sup>a</sup> folha trifoliada completamente desenvolvida; V7 = 6<sup>a</sup> folha trifoliada completamente desenvolvida; R2 = Pleno florescimento; R4 = Plena formação das vagens

## 2.2 Avaliação da doença

A avaliação da intensidade da ferrugem iniciou-se com o aparecimento das primeiras lesões (estádio R2). Foram realizadas 8 avaliações semanais da incidência e da severidade da ferrugem, até o início da senescência da cultura. A incidência foi avaliada pelo número de plantas com lesões por parcela em relação ao total de plantas avaliadas. A severidade foi quantificada pela porcentagem de tecido lesionado, de acordo com escala de Bromfield, (1984),

em folíolos centrais de trifólios do terço médio das plantas. Para isso, os folíolos de dez plantas escolhidas aleatoriamente por parcela, foram marcados no experimento 1 e cinco plantas por parcela, foram marcados no experimento 2. Após oito avaliações calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença em cada tratamento (Shaner & Finney, 1977).

### **2.3 Cálculo da taxa e plotagem da curva de progresso**

Após oito avaliações, a curva de progresso da doença foi obtida plotando-se a proporção de doenças no eixo y e o tempo no eixo x, para a representação da epidemia.

A taxa de progresso para a obtenção da quantidade média diária de aumento na intensidade da doença foi determinada por meio da fórmula:  $r = (1/t) \ln (X/x_0)$  (Campbell & Madden, 1990) em que:

r = taxa de progresso da doença; t = tempo decorrente entre a primeira e a última avaliação (dias); ln = logaritmo natural; X = intensidade da doença na última avaliação (%);  $x_0$  = intensidade da doença na primeira avaliação (%).

### **2.4 Avaliação da produção**

Ao final do experimento, foi colhida toda área útil das parcelas, com a umidade corrigida para 13%, segundo as normas da XXV Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil (Utiamata et al., 2003), obtendo-se o rendimento de grãos de soja em Kg/ha<sup>-1</sup> dos tratamentos.

### **2.5 Análise estatística**

#### **2.5.1 Experimento 1**

A análise de variância foi realizada no programa Sisvar<sup>®</sup> - versão 4,6 (Build 6.1). Quando a variável foi significativa no teste F, as médias entre os tratamentos foram comparadas, pelo teste de Scott Knott, a 1% ou 5% de

probabilidade. Os testes de normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos foram realizados utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System). Quando não foi possível obter normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos, os dados foram transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$ .

### **2.5.2 Experimento 2**

A análise de variância foi realizada no programa Sisvar<sup>®</sup> - versão 4,6 (Build 6.1). Quando a variável foi significativa no teste F, as médias entre os tratamentos foram comparadas, pelo teste de Tukey, a 1% ou 5% de probabilidade. Para comparar os adicionais com os demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnett, por meio do programa SAS (Statistical Analysis System). Os testes de normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos foram realizados utilizando-se o mesmo software. Quando não foi possível obter normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos, os dados foram transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$ .

### **2.6 Dados climáticos**

As variações médias diárias de precipitação (mm), temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), no período de novembro/2004 a abril/2005, foram registradas em estação climatológica da fazenda Agromercantil-S/A, localizada nas proximidades dos experimentos, e gentilmente cedidas pelo proprietário.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Experimento 1**

#### **3.1.1 Incidência**

Todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha, porém não houve diferenças estatísticas entre si em relação à área abaixo da curva de progresso da incidência do número de plantas doentes por parcela (AACPI).

Os tratamentos chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), pyraclostrobin + epoxiconazole e chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole) apresentaram 27,5%; 27,72% e 32,20% de redução da AACPI, respectivamente, em relação à testemunha. As menores porcentagens foram observadas nos tratamentos silicato de cálcio (19,62%), silicato de sódio (22,18%) e chlorothalonil (20,26%) (Tabela 1).



TABELA 1. Médias e % de redução da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem da soja.

<b>Tratamentos</b>	<b>AACPI</b>	<b>Redução (%)</b>
ss	3193,75 a	22,18
sc	3298,75 a	19,62
chl	3272,50 a	20,26
chl+ ss –2 pulv	3045,00 a	25,80
chl + ss –3 pulv	2975,00 a	27,50
pyracl + epoxic	2966,25 a	27,72
KCl e pyracl + epoxic	3045,00 a	25,80
chl e pyracl + epoxic	2782,50 a	32,20
<b>testemunha</b>	4103,75 b	
<b>Média geral</b>	3186,94	
<b>CV (%)</b>	10,21	

Legenda: ss = silicato de sódio; sc = silicato de cálcio; chl = chlorothalonil; chl + ss – 2 pulv = chlorothalonil + silicato de sódio em 2 pulverizações; chl + ss - 3pulv = chlorothalonil + silicato de sódio em 3 pulverizações; pyracl + epoxic = pyraclostrobin + epoxiconazole; KCl e pyracl + epoxic = cloreto de potássio + pyraclostrobin + epoxiconazole; chl e pyracl + epoxic = chlorothalonil + pyraclostrobin + epoxiconazole. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 1% de probabilidade.

A curva de progresso da incidência da ferrugem nos tratamentos avaliados apresentou diferenças até a terceira avaliação, aos 21 dias após o aparecimento dos sintomas. A partir dessa avaliação até a última, aos 56 dias, os valores observados tenderam a apresentar semelhanças em relação à incidência, devido à rápida disseminação dos urediniósporos da ferrugem. Na quinta avaliação, aos 35 dias, todos os tratamentos apresentaram 100% de incidência (Figura 1). O tratamento padrão pyraclostrobin + epoxiconazole, utilizado para o controle da ferrugem da soja, apresentou acentuada redução para incidência até aos 21 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas, com aumento a partir deste dia. Isso pode ser explicado pelo fato de que a primeira pulverização foi

realizada com o surgimento dos primeiros sintomas. Já a segunda pulverização com este fungicida foi realizada em R4, próximo de 40 dias após o surgimento das primeiras lesões. Portanto, seria necessária pulverização em intervalos menores, para não haver o progresso acentuado da incidência da ferrugem, como ocorreu após os 21 dias de avaliação.

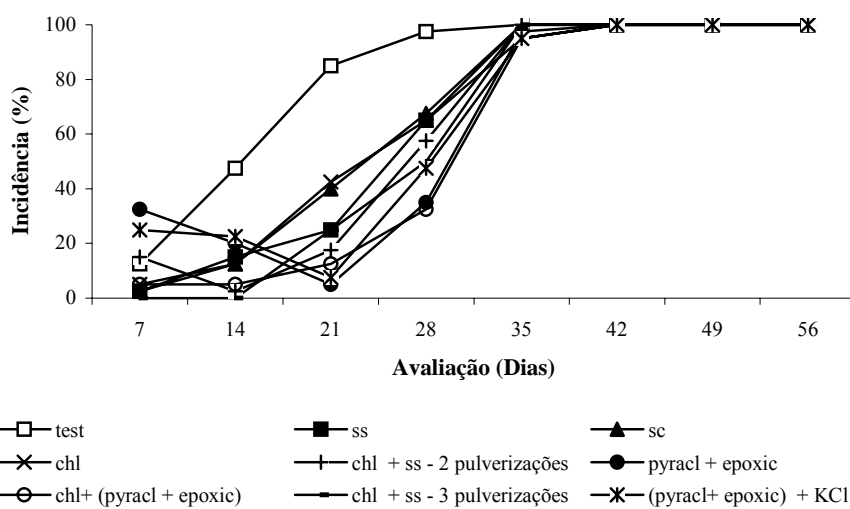


FIGURA 1. Curva de progresso da incidência da ferrugem da soja no tempo, em função da associação de fungicidas e silício.

Os maiores valores, em média, das taxas absolutas de incidência da ferrugem, até aos 21 dias, foram observados nos tratamentos testemunha (4,05) e silicato de cálcio (3,10). Chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações) apresentaram taxas absolutas de incidência da ferrugem, em média, até aos 21 dias, de 1,31 e 2,38, respectivamente (Figura 2).

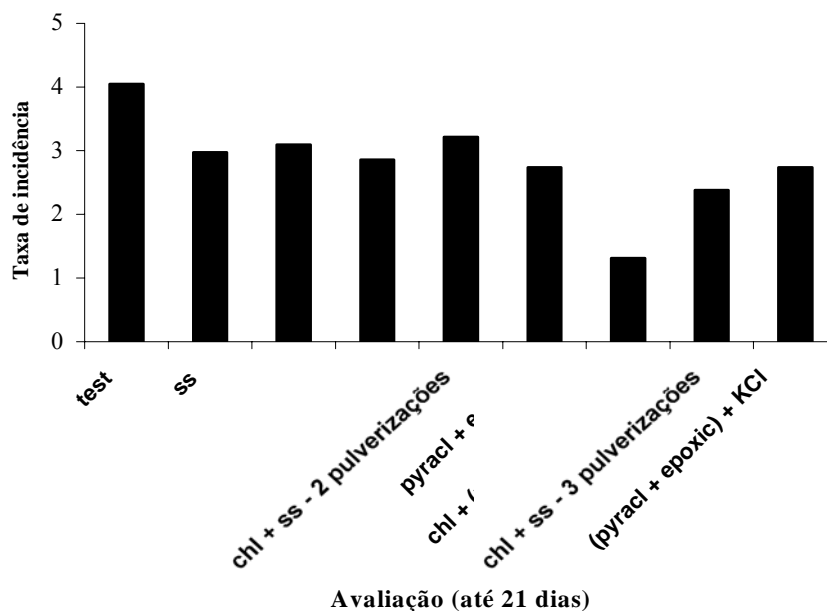


FIGURA 2. Taxa absolutas de incidência da ferrugem da soja, até os 21 dias de avaliação após o surgimento dos primeiros sintomas, em função da associação de fungicidas e silício.

A diferença dos tratamentos em relação à AACPI somente para à testemunha pode ser explicada pela facilidade de disseminação dos urediniósporos da ferrugem, de maneira rápida, principalmente pelo vento, sendo levados a grandes distâncias, em curto espaço de tempo. Quando ocorre uma planta infectada e com esporulação, observa-se, praticamente em todas as outras plantas, alguma folha com incidência. Assim, a variável incidência, neste caso, não seria bom indicativo para diferenciar os tratamentos em campo, em relação à ferrugem da soja, pois, a partir do surgimento das primeiras lesões, praticamente todos os tratamentos já apresentavam incidência de pústulas. Essa

variável é de grande importância para efeitos de monitoramento da doença em que nos primeiros sintomas, medidas de controle químico devem ser efetuadas.

As menores porcentagens de incidência foram observadas nos tratamentos chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), pyraclostrobin + epoxiconazole, KCl + pyraclostrobin + epoxiconazole e chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole) em relação à testemunha. Desse modo observou-se o aumento da eficiência no controle da ferrugem, quando adicionaram-se juntamente, fungicidas protetores e sistêmicos, sistêmico + KCL e protetor + silicato de sódio em maior número de pulverizações.

Maior eficiência no controle da ferrugem da soja, quando adicionaram-se fungicidas com Si, foi verificada também por Lima (2006), estudando a eficiência de fungicidas (chlorothalonil, 750 g i.a; epoxiconazole, 50g/L e epoxiconazole + pyraclostrobin, 133 g/L) e doses de silício (0; 112; 224; 336 e 448 mg kg<sup>-1</sup>) aplicadas no solo, no controle da doença em casa-de-vegetação. O autor observou que plantas tratadas na maior dose de silício de 448 mg de Si kg<sup>-1</sup> de solo, na ausência de fungicida, reduziram em 28,89% a incidência ou o número de folhas lesionadas, comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). Para chlorothalonil, a incidência reduziu em 66% com aumento da dose de Si de 0 para 448 mg kg<sup>-1</sup> de solo. Quanto aos fungicidas sistêmicos, houve redução de 45% e 42,8% na incidência, para epoxiconazole + pyraclostrobin e epoxiconazole, respectivamente. quando a dose de Si variou de 0 a 448 mg kg<sup>-1</sup>.

Sendo assim, a associação de fungicidas e silício aumentou consideravelmente a redução da intensidade da ferrugem da soja quando comparada com o seu efeito isolado.

### **3.1.2 Severidade**

Para área abaixo da curva de progresso da porcentagem de tecido lesionado (AACPS), todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha. Os tratamentos chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), KCL + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações) não diferiram estatisticamente entre si. Maior AACPS foi observada nos tratamentos silicato de sódio, chlorothalonil e silicato de cálcio. As maiores porcentagens de redução da AACPS em relação à testemunha foram observadas nos tratamentos: chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações) (74,46%), chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações) (81,48%), KCL + (pyraclostrobin + epoxiconazole) (86,54%), chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole) (86,98%) e pyraclostrobin + epoxiconazole (88,74%) (Tabela 2).

TABELA 2. Médias e % de redução da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem da soja.

<b>Tratamentos</b>	<b>AACPS</b>	<b>Redução (%)</b>
ss	69,18 b	52,76
sc	54,27 b	62,94
chl	46,11 b	68,52
chl+ ss -2 pulv	37,40 a	74,46
chl + ss -3 pulv	27,11 a	81,48
pyracl + epoxic	16,50 a	88,74
KCl e pyracl + epoxic	19,71 a	86,54
chl e pyracl + epoxic	19,08 a	86,98
<b>testemunha</b>	146,44 c	
<b>Média geral</b>	48,42	
<b>CV (%)</b>	31,16	

Legenda: ss = silicato de sódio; sc = silicato de cálcio; chl = chlorothalonil; chl + ss - 2 pulv = chlorothalonil + silicato de sódio em 2 pulverizações; chl +ss - 3pulv = chlorothalonil + silicato de sódio em 3 pulverizações; pyracl + epoxic = pyraclostrobin + epoxiconazole; KCl e pyracl + epoxic = cloreto de potássio + pyraclostrobin + epoxiconazole; chl e pyracl + epoxic = chlorothalonil + pyraclostrobin + epoxiconazole. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 1% de probabilidade.

As maiores médias de taxas absolutas de severidade da ferrugem, a partir do aparecimento dos primeiros sintomas até os 49 dias, foram observadas na testemunha (0,157), no silicato de sódio (0,090) e no silicato de cálcio (0,084). Pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) apresentaram taxas absolutas de severidade da ferrugem de 0,024, 0,028 e 0,026 respectivamente

(Figuras 3 e 4). Segundo Godoy & Canteri (2004), o princípio ativo pyraclostrobin+ epoxiconazole, quando aplicado sobre as plantas que não apresentavam sintomas aparentes, apresentou redução na infecção da ferrugem asiática, quando ainda estava em período de incubação, reduzindo também a severidade da doença e a viabilidade dos urediniósporos. A eficiência deste ingrediente ativo também foi comprovada pelo trabalho realizado por Gomes (2005), provavelmente relacionada à época de aplicação, quando se consideraram o nível de infecção de ferrugem e o estágio de desenvolvimento das plantas de soja.

De acordo com os resultados, os fungicidas testados já registrados para a cultura da soja, pertencentes ao grupo estrobirulinas + triazol, sozinho e em misturas, foram eficientes no controle de *P. pachyrhizi*. A presença de mais de um grupo com eficiência comprovada é importante no que diz respeito ao manejo de resistência de fungos a fungicidas. Fungicidas com modo de ação específico possuem maior risco de seleção de populações resistentes do patógeno, devendo-se dessa forma, alternar produtos com diferentes modos de ação ou utilizar misturas prontas desses fungicidas. Assim, devido ao fato da doença ser extremamente agressiva, com taxas de progresso explosivas, existe a necessidade de pulverizações com fungicidas ou outros produtos alternativos, tanto de forma preventiva quanto curativa. O fato de o silicato de sódio, em associação com chlorothalonil em duas e três pulverizações e o cloreto de potássio, em associação com pyraclostrobin + epoxiconazole, apresentarem efeitos significativos, pode ser explicado pelo fato de o silicato de sódio e o cloreto de potássio terem interferido em algum processo metabólico, pois existe a possibilidade de esses produtos terem atuados como sal, com ocorrência de alteração do potencial osmótico da epiderme da folha, afetando, assim, a germinação dos urediniósporos.

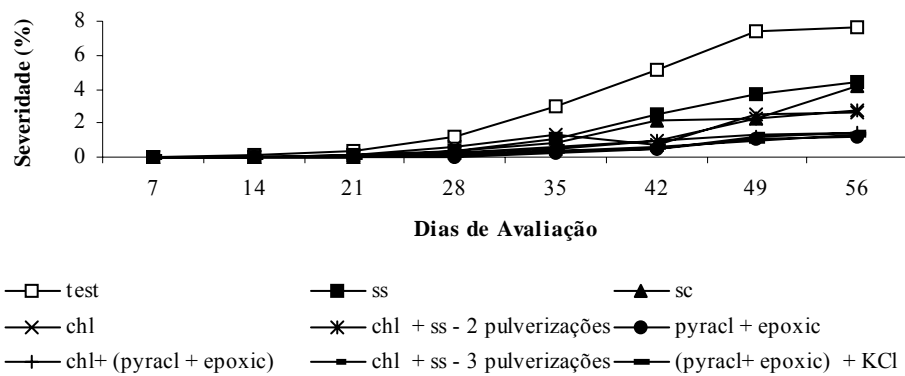


FIGURA 3. Curva de progresso da severidade da ferrugem da soja no tempo, em função da associação de fungicidas e silício.

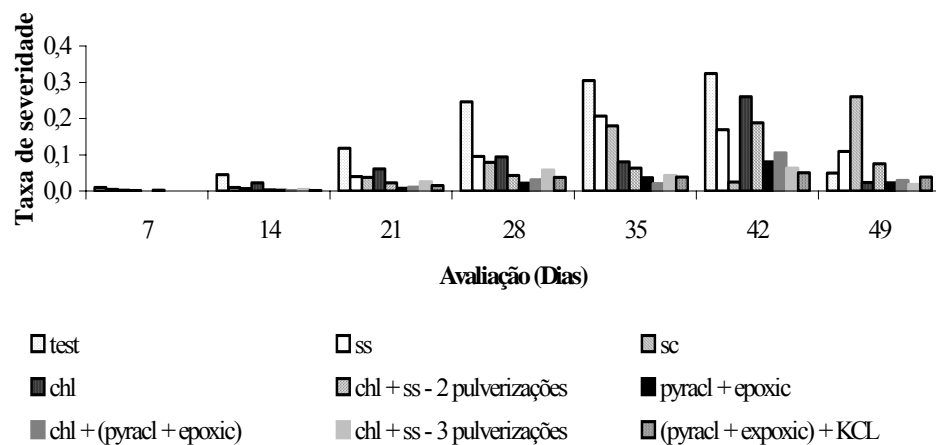


FIGURA 4. Taxas absolutas de severidade da ferrugem da soja no intervalo entre as avaliações, em função da associação de fungicidas e silício.



De acordo com esses resultados, verificou-se que o silício pode ser associado aos fungicidas com eficácia no manejo de doenças de plantas. Desse modo, em outros trabalhos, plantas de soja pulverizadas somente com silicato de potássio (60g/L) apresentaram redução de 34% na severidade da ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*), enquanto a mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e a mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + pyraclostrobin) reduziram a severidade da doença em 76% e 83,3%, respectivamente (Nascimento et al., 2005).

Brecht et al. (2004) verificaram que o silicato de cálcio, sozinho, reduziu em até 41% a brusone em grama santo-agostinho. A associação silicato de cálcio e fungicidas protetores chlorothalonil promoveu redução de 68% na AACPD, comparando plantas tratadas e não tratadas com silicato.

Lima (2006), também verificando a intensidade da ferrugem em casa-de-vegetação, em função de fungicidas (chlorothalonil, 750 g i.a; epoxiconazole, 50 g.L<sup>-1</sup> e epoxiconazole + pyraclostrobin, 133 g.L<sup>-1</sup>) e doses de silício (0; 112; 224; 336 e 448 mg kg<sup>-1</sup>), aplicado via solo na forma de silicato de cálcio, observou que plantas de soja tratadas com 448 mg de Si.kg<sup>-1</sup> de solo, na ausência de fungicida, apresentaram 45% menos pústulas/cm<sup>2</sup>, comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). Para chlorothalonil, a severidade reduziu em 60,46% com o aumento da dose de Si de 0 para 448 mg kg<sup>-1</sup> de solo, comparando-se a aplicação deste fungicida com testemunha sem Si. Quanto aos fungicidas sistêmicos, houve redução da severidade de 50% e 47%, quando a dose de Si variou de 0 a 448 mg kg<sup>-1</sup>, para epoxiconazole + pyraclostrobin e epoxiconazole, respectivamente.

A mesma autora, avaliando a interação de fungicidas (chlorothalonil, 750 i.a; epoxiconazole, 50 g/L; epoxiconazole + pyraclostrobin, 133 g/L) e doses de silicato de cálcio (0; 112; 224; 336 e 448 mg de Si) na germinação de esporos de *P. pachyrhizi* in vitro, observou que os fungicidas epoxiconazole e

epoxiconazole + pyraclostrobin, aplicados sozinhos ou em mistura com silicato de cálcio, apresentaram maior eficácia na redução da germinação. Houve redução linear, independente do fungicida utilizado e da testemunha.

Entretanto, existem também relatos da eficácia do silício sem associação com fungicidas. Dessa maneira, Furtado et al. (2004), em trabalhos com germinação de urediniósporos in vitro, utilizaram silicato de cálcio (37% de SiO<sub>2</sub>) e constataram redução na porcentagem de germinação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi*. De acordo com os autores, a concentração de 2% do produto (345,3 mg de Si) foi suficiente para inibir 100% da germinação.

No estudo sobre o efeito de doses de silício (0; 56; 112; 168; 224 e 280 mg de Si por litro de água) utilizando, como fonte, silicato de potássio, em solução nutritiva, na intensidade da ferrugem da soja, observou-se que a área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) reduziu de forma linear com o aumento das doses de Si na solução de 0 para 280 mg L<sup>-1</sup> de solução. Houve redução da AACPS em 24,5%, comparando-se plantas supridas com 280 mg L<sup>-1</sup> com plantas sem Si, na solução nutritiva (Lima, 2006).

Em plantas de soja, cultivadas em solução nutritiva e inoculadas com *Diaphorthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, observou-se redução linear de 90% da lesão, com adição de até 40 mg de Si L<sup>-1</sup> de solução nutritiva. O Si na solução nutritiva aumentou a resistência das plantas de soja ao cancro da haste (Lima, 1998).

Em dicotiledôneas, como a uva e o pepino, inoculadas com *Uncinula necator* (Schwein) Burril e *Sphaerotheca fuliginea* (Schlec ht ex.Fr) Poll, respectivamente, observou-se o acúmulo de Si na superfície de folhas pulverizadas com silicato de potássio (17 mM), impedindo o desenvolvimento das hifas do patógeno. A redução da severidade do oídio da videira foi atribuída a essa barreira física encontrada na folha e os autores concluíram que a

resistência envolve a translocação do Si e seu depósito nos sítios de penetração do fungo (Bowen et al., 1992; Samuels et al., 1991).

Plantas de pepino cultivadas com silicato de sódio em solução nutritiva e inoculadas com *Sphaeroteca fuliginea* apresentaram menor número de colônias por folha, menor área da colônia e redução do poder germinativo dos conídios, comparadas com plantas não supridas com Si (Menzies et al., 1991).

### 3.1.3 Produção

Houve correlação negativa significativa para a incidência e a severidade da ferrugem com a produção de soja em Kg/ha<sup>-1</sup> em função dos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação de Pearson entre a intensidade da ferrugem da soja em função da associação de fungicidas e silício, com a produção da soja em Kg/ha<sup>-1</sup>.

<b>Intensidade da doença</b>	<b>Produção</b>
Incidência	-0,67 *
Severidade	-0,81**

\*\* Significativo, a 1% de probabilidade

\* Significativo, a 5% de probabilidade

Com o decréscimo da incidência nos tratamentos, observou-se ligeiro aumento da produção (Figura 5 A). Em relação à severidade, o aumento da produção, com a redução desta variável, foi bastante evidente (Figura 5 B).

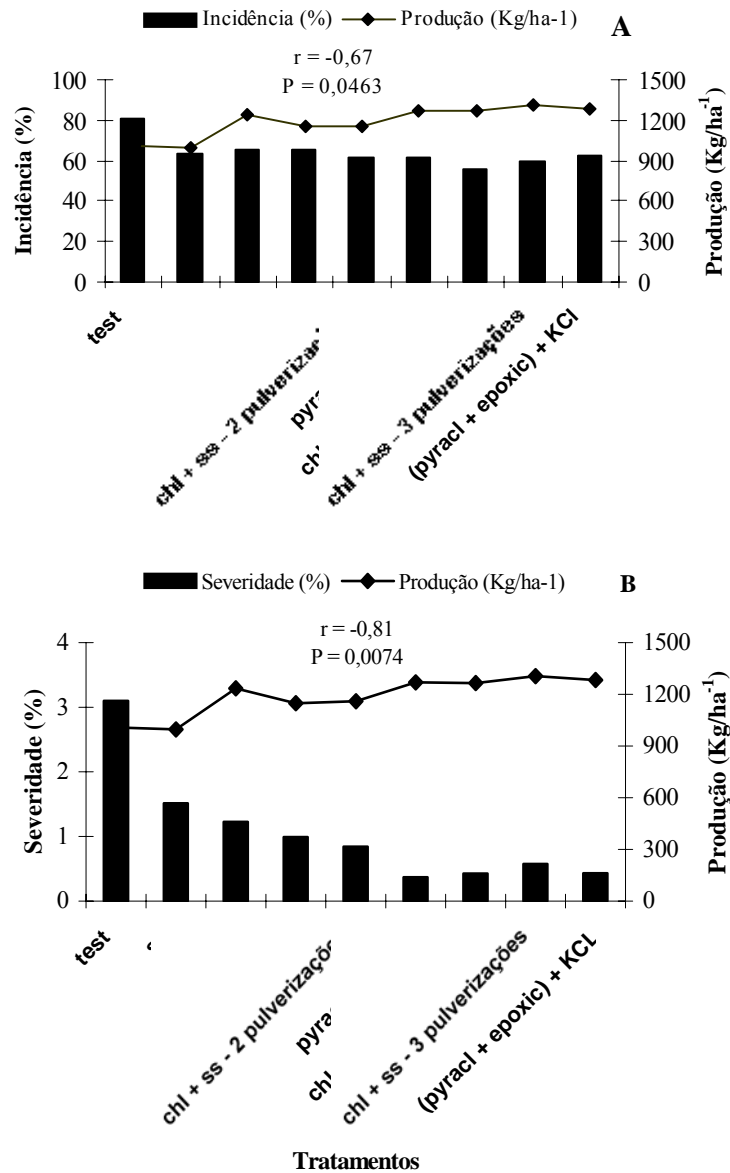


FIGURA 5. Correlação entre a intensidade da ferrugem da soja com a produção em função da associação de fungicidas e silício. A= incidência; B= severidade. ( $P \leq 0,05$ =significativo à 5% de probabilidade;  $P \leq 0,01$ =significativo à 1% de probabilidade)

Apesar de ter sido observada, redução da produção com o aumento da severidade, provavelmente, o efeito da doença sobre a produção na testemunha não foi maior devido a sua ocorrência tardia, ou seja, no início do enchimento de grãos.

A evidência maior na redução da produção dos tratamentos, de acordo com o aumento da severidade, pode ser explicada pelo fato da variável severidade expressar, com maior precisão, o dano real causado pelos patógenos. Assim, a porcentagem de tecido coberto por sintomas retrata melhor a intensidade da doença que a incidência, em que unicamente a frequência de órgãos doentes é anotada.

## **3.2 Experimento 2**

### **3.2.1 Incidência**

Para a AACPI, uma e duas aplicações de 25%, 50% e 100% de chlorothalonil, e três aplicações de 50% não diferiram estatisticamente da testemunha. Os maiores valores de redução da AACPI foram observados nos tratamentos: três aplicações de 25% (29,57%) e 100% (35,22%), quatro aplicações de 25% (34,28%), 50% (38,97%) e 100% (26,77%) e pyraclostrobin + epoxiconazole (38,03%), em relação à testemunha. O parâmetro incidência em epidemias com alta taxa de progresso não fornece bons resultados para comparação conforme Tabela 1. Nenhum tratamento apresentou diferenças significativas em relação ao adicional pyraclostrobin + epoxiconazole.

TABELA 1. Médias e redução (%) da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem da soja, em função do número de aplicações e doses de chlorothalonil.

Tratamentos			Redução (%)	
Nº de aplicação	Dosagem (%)	AACPI		
1	25	3202,50 <sup>ns</sup>	ns	14,90
	50	3132,50 <sup>ns</sup>	ns	15,97
	100	2870,00 <sup>ns</sup>	ns	23,01
2	25	2922,50 <sup>ns</sup>	ns	21,60
	50	3185,00 <sup>ns</sup>	ns	14,56
	100	3045,00 <sup>ns</sup>	ns	18,31
3	25	2625,00*	ns	29,57
	50	2835,00 <sup>ns</sup>	ns	23,95
	100	2415,00*	ns	35,22
4	25	2450,00*	ns	34,28
	50	2275,00*	ns	38,97
	100	2730,00*	ns	26,77
	Testemunha	<b>3727,50</b>	-	
<b>Adicionais</b>	pyraclostrobin + epoxiconazole	-	<b>2310,00</b>	38,03

\* = significativo, pelo teste de Dunnett (P=0,05); ns = não significativo, pelo teste de Dunnett (P=0,05)<sup>1</sup> = médias na comparação com o adicional testemunha repetem com o adicional pyraclostrobin + epoxiconazole.

Observaram-se efeitos isolados dos diferentes números de aplicações para a AACPI, sendo os menores valores observados quando submeteram-se as plantas a três e quatro aplicações (Figura 1).

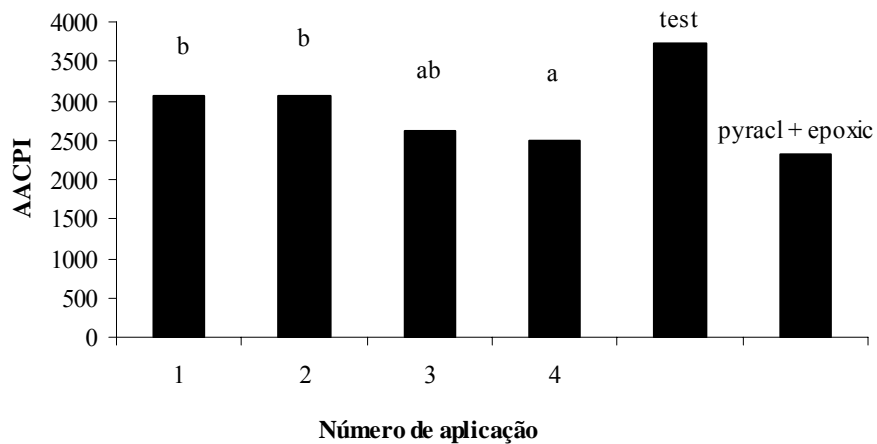


FIGURA 1. Área abaixo da curva de progresso do número de plantas doentes, em função do número de aplicações de chlorothalonil. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade. Médias comparadas entre si e com os adicionais testemunha e pyraclostrobin + epoxiconazole pelo teste de Dunnett ( $P=0,05$ ).

Até a 3ª avaliação, aos 21 dias após o surgimento dos primeiros sintomas, a maior taxa absoluta de incidência da ferrugem, em média, foi observada na testemunha (3,57). Três e duas aplicações de chlorothalonil apresentaram taxas de 1,35 e 1,03, respectivamente. Pyraclostrobin + epoxiconazole apresentou valor zero de taxa absoluta de incidência da ferrugem até a terceira avaliação aos 21 dias. A partir dessa avaliação, houve aumentos gradativos das taxas absolutas de incidência da ferrugem até os 42 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas, igualando todos os tratamentos em porcentagem máxima de incidência (Figura 2).

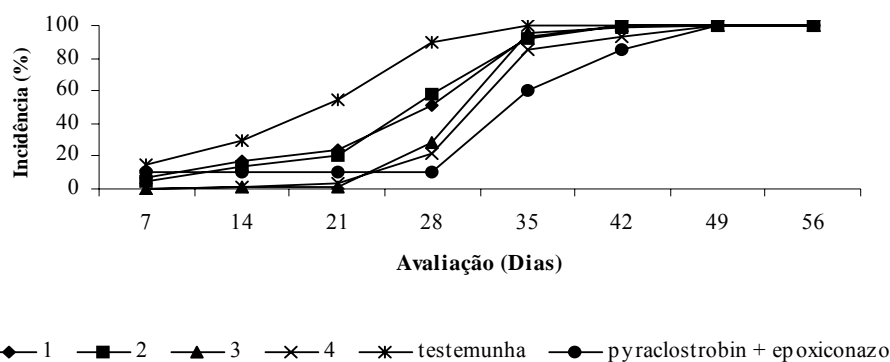


FIGURA 2. Curva de progresso da incidência da ferrugem da soja no tempo, em função do número de aplicações de chlorothalonil.

O controle de doenças por meio da aplicação de fungicidas é uma forma efetiva de minimizar os efeitos da ferrugem e, para isso, ao se identificar a presença da doença na região, deve-se fazer a pulverização no momento certo, uma vez que os fungicidas protegem, em média, por cerca de 25 dias e a cultura fica em campo por mais de 150 dias. Tem-se, assim, espaço de tempo longo favorecendo a disseminação do inóculo, a germinação e a infecção na lavoura. O número excessivo de aplicações de fungicidas sistêmicos, além de onerar o custo de produção da soja, pode tornar a cultura antieconômica. Em condições normais de cultivo, quando o objetivo é a produção de grãos, esses fungicidas não devem ser empregados em número superior a três pulverizações, durante o ciclo da cultura. Na prática, o número de aplicações varia de uma a duas, quando são seguidas as táticas de manejo integrado da doença (Zambolim, 2006). Assim, têm-se a importância de registrar fungicidas de menor custo e a possibilidade de realizar mais pulverizações durante o período de permanência da cultura no campo, além da alternância de princípios ativos para evitar selecionar populações resistentes.



### **3.2.2 Severidade**

Para a variável AACPS, uma e duas aplicações de 25% não diferiram estatisticamente da testemunha. Duas aplicações de 50% e três e quatro aplicações de 25%, 50% e 100% não diferiram estatisticamente de pyraclostrobin + epoxiconazole. As maiores porcentagens de redução da AACPS foram observadas nos tratamentos: duas aplicações de 50% (51,33%), três aplicações de 25% (65,91%), 50% (61,33%) e 100% (76,78%) e quatro aplicações de 25% (69,66%), 50% (67,60%) e 100% (80,53%) em relação à testemunha. O adicional pyraclostrobin + epoxiconazole reduziu em 83,48% a AACPS em relação à testemunha (Tabela 2).

TABELA 2. Médias e redução (%) da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da ferrugem da soja, em função do número de aplicações e doses de chlorothalonil.

Tratamentos		AACPS		Redução
Nº de aplicação	Dosagem (%)			(%)
1	25	<sup>1</sup> 72,60 <sup>ns</sup>	*	17,36
	50	49,05*	*	44,17
	100	48,81*	*	44,14
2	25	58,57 <sup>ns</sup>	*	33,33
	50	42,76*	ns	51,33
	100	48,93*	*	44,31
3	25	29,95*	ns	65,91
	50	33,98*	ns	61,33
	100	20,40*	ns	76,78
4	25	26,66*	ns	69,66
	50	28,47*	ns	67,60
	100	17,11*	ns	80,53
Testemunha		<b>87,85</b>	-	
<b>Adicionais</b>	pyraclostrobin + epoxiconazole	-	<b>14,52</b>	83,48

\*=significativo, pelo teste de Dunnett (P=0,05); <sup>ns</sup> = não significativo pelo teste de Dunnett (P=0,05).<sup>1</sup> = médias na comparação com o adicional testemunha repetem com o adicional pyraclostrobin + epoxiconazole.

Para AACPS, houve diferenças significativas para os efeitos isolados do número de aplicações, e dosagens de chlorothalonil. Para os diferentes números de aplicações, as plantas, quando submetidas a três e quatro aplicações, apresentaram menores AACPS (Figura 3A). Para as dosagens estudadas, observou-se menor AACPS na dosagem de 100% do produto comercial, embora não tenha diferido estatisticamente da dosagem de 50% (Figura 3B).

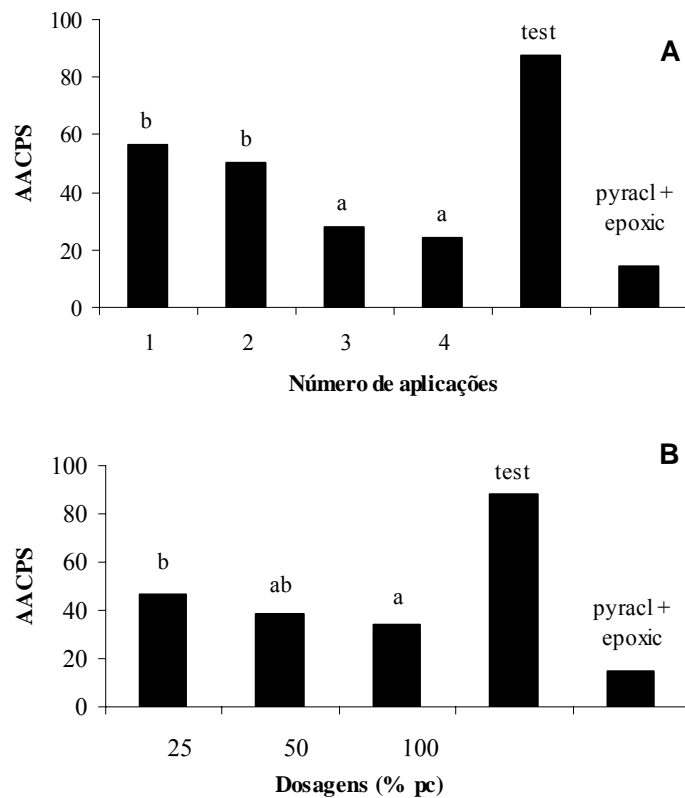


FIGURA 3. Área abaixo da curva de progresso da severidade, da ferrugem da soja em função da aplicação de chlorothalonil. A= número de aplicações; B= dosagens. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade. Médias comparadas com os adicionais, pelo teste de Dunnett (P=0,05).

A partir da sexta avaliação, aos 42 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas, o efeito do número de aplicações de chlorothalonil na curva de progresso da severidade tendeu a diferenciar (Figura 4). Em relação à testemunha, as menores taxas absolutas de severidade da ferrugem foram observadas com três (0,06) e quatro (0,05) aplicações de chlorothalonil e no

tratamento pyraclostrobin + epoxiconazole (0,02), com 50%, 50,4% e 83,4% de redução, respectivamente. Para uma e duas aplicações de chlorothalonil, observou-se taxas absolutas de severidade da ferrugem de 0,11 e 0,09, com redução de 8,3% e 25% respectivamente (Figura 5).

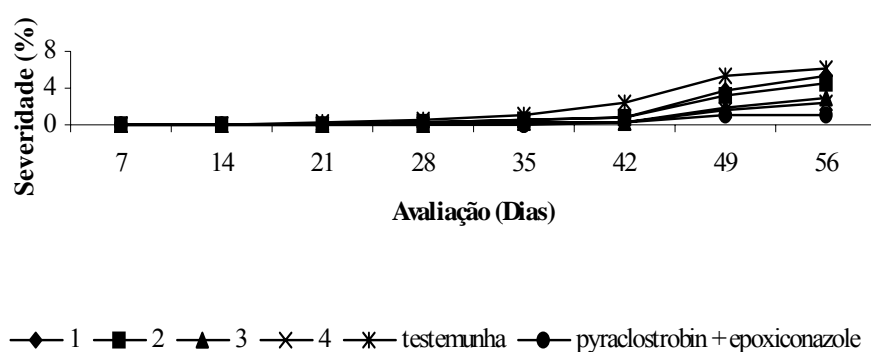


FIGURA 4. Curva de progresso da severidade da ferrugem da soja no tempo, em função do número de aplicações de chlorothalonil.

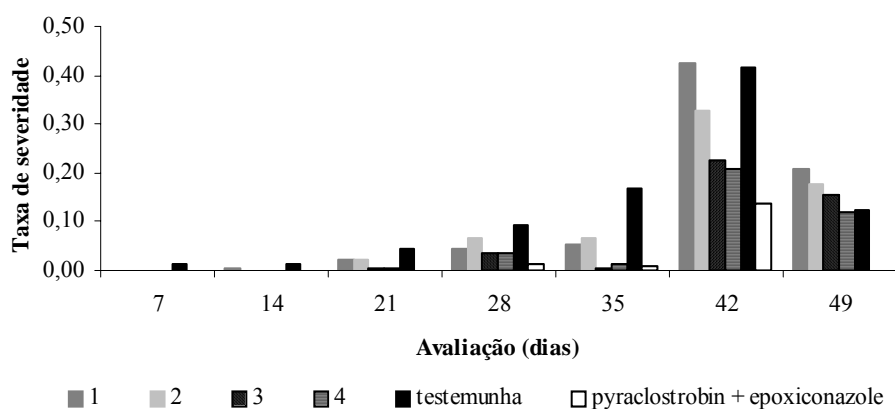


FIGURA 5. Taxas absolutas de severidade da ferrugem da soja nos intervalos entre as avaliações, em função do número de aplicações de chlorothalonil.

A partir da sexta avaliação, aos 42 dias após o aparecimento dos primeiros sintomas, o efeito das dosagens de chlorothalonil sobre curva de progresso da severidade tendeu a diferenciar (Figura 6).

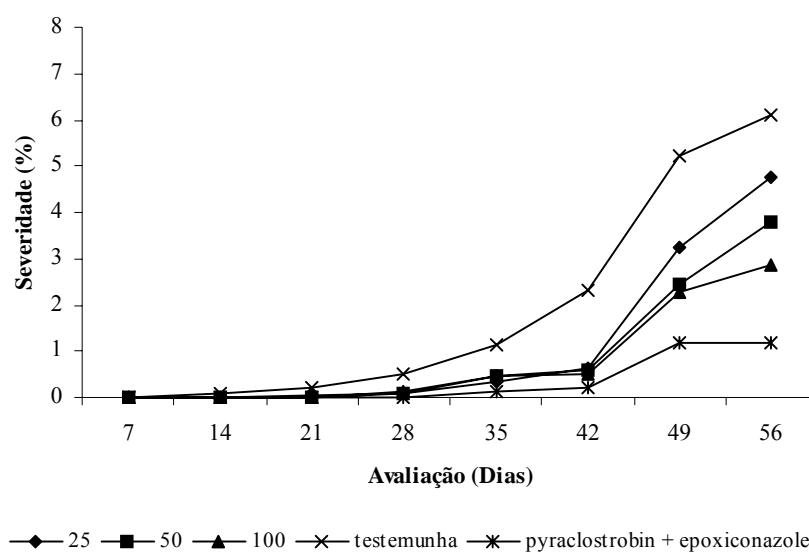


FIGURA 6. Curva de progresso da severidade da ferrugem da soja no tempo, em função de doses de chlorothalonil.

Isso, provavelmente, é explicado pelo fato de a última pulverização ter sido efetuada no dia 18 de fevereiro de 2005 e a avaliação aos 42 dias após o surgimento dos primeiros sintomas, realizada após 25 dias, em 14 de março de 2005. Este é o tempo pelo qual, em média, os fungicidas protegem a cultura no campo.

As menores taxas absolutas de severidade da ferrugem, em média, em todas as avaliações, foram observadas nas dosagens de 100% (0,06) e 50% (0,08) de chlorothalonil e no tratamento pyraclostrobin + epoxiconazole (0,02).

Testemunha e 25% da dosagem de chlorothalonil apresentaram valores de taxa absoluta de severidade de 0,12 e 0,10, respectivamente (Figura 7).

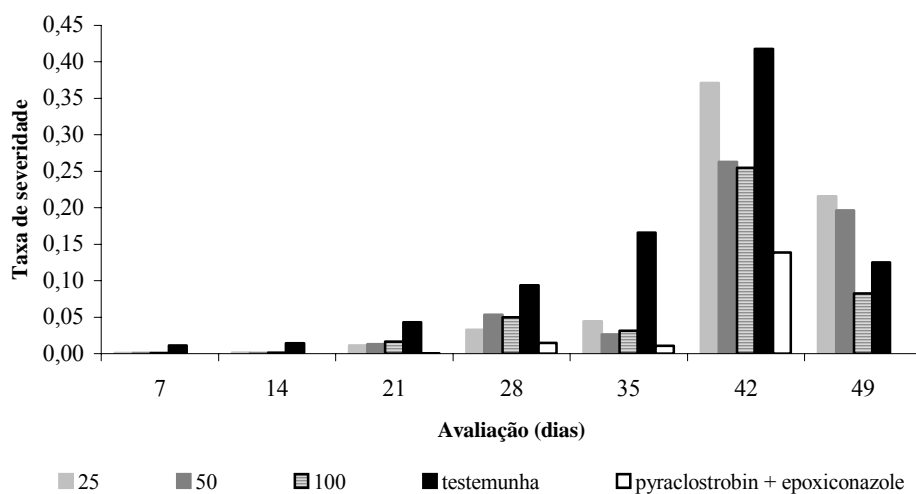


FIGURA 7. Taxas absolutas de severidade da ferrugem da soja nos intervalos entre as avaliações, em função das doses de chlorothalonil.

Também não foram verificados efeitos iniciais de fungicidas sobre a intensidade da ferrugem da soja em avaliações iniciais, como relatado por Silva Júnior (2006), estudando a eficiência de fungicidas como chlorothalonil + tiofanato metílico ( $1,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), chlorothalonil 750 ( $1,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), tiofanato metílico 700 ( $0,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), hidróxido de cobre e pyraclostrobin + epoxiconazole ( $0,5 \text{ L.ha}^{-1}$ ), em diferentes épocas de aplicação. De acordo com o autor, nenhum dos produtos testados apresentou significância nas diferentes épocas de aplicação, na avaliação aos 15 dias. O número de pústulas encontrado foi relativamente baixo, variando de 0,33, na aplicação aos 15 dias de thiophanato

metílico ( $V_6 + R_5$ ) a 1,23, na aplicação de chlorothalonil ( $V_6 + R_5$ ), o que foi verificado também no tratamento testemunha avaliado aos 15 DAA, com número de 1,20 pústulas/cm<sup>2</sup>. Em relação aos produtos aplicados, verifica-se que apenas o chlorothalonil + thiophanato metílico e o chlorothalonil apresentaram maior eficiência no controle da doença quando foram aplicados em  $R_5$  e  $V_6 + R_5$ , para a avaliação aos 45 dias e apenas chlorothalonil em  $R_1 + R_5$ , também aos 45 dias.

De acordo com ensaios realizados pela Embrapa Soja, na safra de 2003/2004, para o controle da ferrugem asiática, observou-se, na análise conjunta dos resultados dos tratamentos aplicados, a formação de três grupos de fungicidas em relação à eficiência. No primeiro grupo (>90% de controle), estão os princípios ativos fluatrilfol (62,5 g i.a./ha), tebuconazole (100 g i.a./ha), pyraclostrobin + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a./ha), trifloxystrobin + ciproconazole (56,2 + 24 g i.a./ha) e azoxystrobin + ciproconazole (60 + 4 g i.a./ha); No segundo grupo (80% a 86% de controle), os princípios ativos tetraconazole (50 g i.a./ha), myclobutanil (100 g i.a./ha) e epoxiconazole (37,5 g i.a./ha). Finalmente, no terceiro grupo (59-74% de controle), os princípios ativos difenoconazole (50 g i.a./ha), azoxystrobin (50 g i.a./ha), fluquinconazole (62,5 g i.a./ha), trifloxystrobin + propiconazole (50 + 50 g i.a./ha) e propiconazole (125 g i.a./ha) (Godoy, 2005).

Embora existam três grupos de eficiência, é importante salientar que os produtos podem ter a mesma eficiência no campo, em condições de baixa pressão da doença. Essa diferença na eficiência dos produtos é mais fácil de ser observada em situações nas quais a ferrugem ocorre com maior taxa de progresso. A formação de três grupos não implica em flexibilidade na aplicação dos produtos para o controle. Os produtos devem ser utilizados nos sintomas iniciais de incidência ou preventivamente, levando em conta os fatores necessários ao aparecimento da ferrugem (presença do fungo na região, idade

das plantas e condição climática favorável), a logística de aplicação (disponibilidade de equipamentos e tamanho da propriedade), a presença de outras doenças e o custo do controle.

### **3.2.3 Produção**

Observou-se correlação não significativa da produção com a incidência, tanto para número de aplicações ( $r = -0,35$ ;  $P = 0,64$ ) quanto para dosagens ( $r = -0,82$ ;  $P = 0,38$ ) de chlorothalonil. O mesmo foi observado para produção com a severidade para número de aplicações ( $r = -0,37$ ;  $P = 0,62$ ) e dosagens ( $r = -0,0136$ ;  $P = 0,99$ ). De acordo com Phillips (1984), o fungicida não aumenta o rendimento e, sim, possibilita que a cultura expresse o seu potencial, eliminando o fator doença. Embora, algumas vezes, a aplicação de fungicidas reduza a intensidade das doenças foliares, necessariamente não implica no aumento de produção.

### **3.3 Dados climáticos**

Durante a condução do experimento, as condições climáticas registradas em campo foram favoráveis ao progresso da ferrugem da soja. A pluviosidade registrada foi de 329 mm e a umidade média de 74,2% (Figura 8A). A temperatura máxima apresentou valores médios próximos de 28,3°C. A temperatura mínima média foi de 20,1°C e a temperatura média, durante todo experimento foi de 24,2°C (Figura 8B). De acordo com Almeida et al. (2005), o processo de infecção depende da disponibilidade de água livre na superfície da folha, sendo necessárias no mínimo seis horas, com máximo de infecção ocorrendo com 10-12 horas de molhamento foliar. Temperaturas entre 15°C e 28°C e áreas com distribuição normal de chuva durante o desenvolvimento da cultura são propícias à multiplicação do patógeno, como as regiões do cerrado, com altitudes superiores a 600 m.



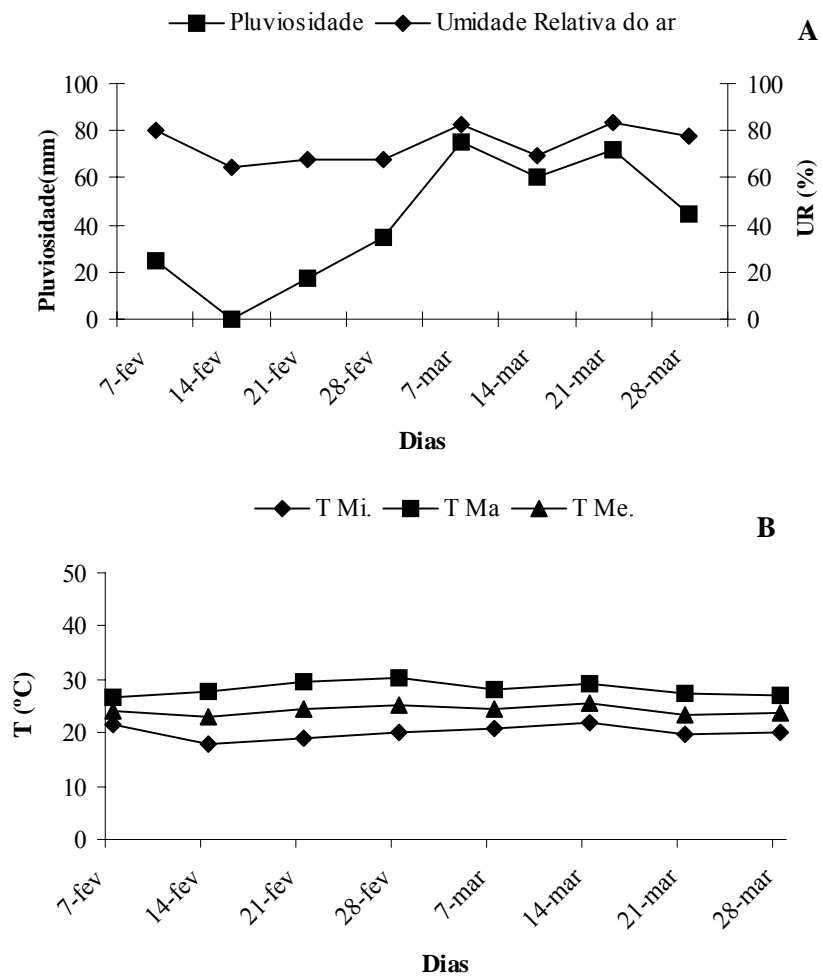


FIGURA 8. Dados climáticos durante a condução do ensaio. A = Pluviosidade (mm) e umidade relativa do ar (%); B = Temperatura máxima, média e mínima do ar.

## 4 CONCLUSÕES

### Experimento 1

Todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha em relação a AACPI.

Para a AACPS, os melhores tratamentos foram: chlorothalonil + (pyraclostrobin + epoxiconazole), pyraclostrobin + epoxiconazole, chlorothalonil + silicato de sódio (3 pulverizações), KCl + (pyraclostrobin + epoxiconazole) e chlorothalonil + silicato de sódio (2 pulverizações).

Houve correlação negativa da intensidade da ferrugem com a produtividade de soja.

### Experimento 2

As menores AACPI e AACPS foram observadas quando as plantas foram submetidas a três e quatro aplicações de chlorothalonil.

Observou-se menor AACPS na dosagem de 100% do produto comercial.

Não houve correlação significativa da produção com a severidade para o número de aplicações e dosagens de chlorothalonil.

Para a variável AACPS, uma e duas aplicações de 25% do fungicida chlorothalonil não diferiram estatisticamente da testemunha. Os tratamentos, duas aplicações de 50% e três e quatro aplicações de 25%, 50% e 100% não diferiram estatisticamente do adicional padrão pyraclostrobin + epoxiconazole.

Para a variável AACPI, uma e duas aplicações de 25%, 50% e 100% e três aplicações de 50% não diferiram estatisticamente da testemunha. Nenhum tratamento diferiu estatisticamente de pyraclostrobin + epoxiconazole.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J.F.V. ; HENNING, A. A.; GODOY, C.V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja, cap.64, p. 569-588. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. ; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; (ed). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005, v. 2, 4ª ed, 663p.

BOWEN, P.; MENZIES, J.G.; EHRET, D. L.; Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n.6, p.906-912, nov. 1992.

BRECHT, M. O; DATNOFF, L. E.; KUCHARREK, T. A.;NAGATA, R. T. Influence of silicon and chlorothalonil on the suppression of gray leaf spot and increase plant growth in St. Augustinegrass. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, n. 4, p. 338-344, Apr. 2004.

BROMFIELD, K. R. **Soyben Rust**. Minnesota: The American Phytopathological Society - Monograph nº 11, 1984. 65 p

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Willey, 1990. 532p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p.641-664, 1999.

FURTADO, G. Q.; ALVES, S. A. M., MASSOLA JR, N. S. Efeito in vitro na germinação dos urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p.209, ago. 2004. (suplemento).

GODOY, C.V. **Resultados da rede de ensaios para controle químico de doenças na cultura da soja. Safra 2003/2004**. Londrina: Embrapa Soja, 2005.88p. (Documentos/Embrapa Soja).

GODOY, C.V.; CANTERI, M. G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa-de-vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.97-101, jan./fev. 2004

GOMES, L. L. **Controle químico de doenças foliares: efeitos nas características agrônômicas de cultivares de soja**. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Jaboticabal, sp. 2005. vi, 25p.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hort Science**, Alexandria, v.38, n.4, p.552-554, July 2003.

KIMATI, H. Resistência de fungos fitopatogênicos a substâncias químicas usadas no controle de doenças de plantas. In: Congresso Paulista de Fitopatologia, 10, Piracicaba, **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 13, n. 1/2, p.72-74, jan./jun.1987

LIMA, L. M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) com fungicidas e silício**. Dissertação de Mestrado, Lavras: UFLA, 2006, 81p.

LIMA, M. T. G. de. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 1998. 58p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, London, v.39, n.6, p.403-414, Dec. 1991.

NASCIMENTO, J. F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. Á. Effect of potassium silicate combined or not with systemic or protector fungicides on the control of asian soybean rust. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p.121.

PHILLIPS, D.V. Performance of foliar fungicide on soybeans in Geórgia. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, n.7, p.558-560, July. 1984.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.14, n.5, p.485-492, June, 1991.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow- mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.70, n.8, p.1183-1186, Aug. 1977.

SILVA JÚNIOR, J. **Aplicação de fungicidas em diferentes épocas no controle da ferrugem e na produtividade da soja** [*Glycine max* (L.) Merrill]. UFLA: Lavras. 63p. 2006. Dissertação de Mestrado.

UTIAMATA, C. M; SATO, L. N.; TORRES, J. P. Avaliação de fungicidas no controle de doenças de final de ciclo (*Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*) na cultura da soja. In: XXV Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 2003, 186p.

YORINORI, J. T.; LAZZAROTTO, J. J. Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul. **Documentos Embrapa Soja**, Londrina, n. 236, 27p., 2004.

ZAMBOLIN, L. Manejo integrado da ferrugem da soja. p.73-98. In: ZAMBOLIM, L.(ed). **Ferrugem asiática da soja**.Viçosa: UFV, DFP, 2006,140p.

## **CAPÍTULO 4**

### **INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO COM POTÁSSIO E CÁLCIO NA REPRODUÇÃO DO NEMATÓIDE DO CISTO DA SOJA**

## RESUMO

PINHEIRO, J.B. **Influência da nutrição com potássio e cálcio na reprodução do nematóide do cisto da soja.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Tese – Doutorado em Fitopatologia)\*

O objetivo deste trabalho foi avaliar a reprodução do nematóide do cisto da soja em plantas de soja, em função de diferentes doses de K e Ca. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 25 tratamentos, 6 repetições e uma planta por repetição. Foi utilizado esquema fatorial 5 x 5, com cinco níveis de K (0, 150, 300, 450, 600 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco níveis de Ca (0, 75, 150, 225, 300 mg dm<sup>-3</sup>). Dezoito dias após a semeadura, as plantas foram inoculadas com 4.000 ovos de *H. glycines* raça 3. Trinta dias após a inoculação, foram realizadas, semanalmente, avaliações da altura da planta e diâmetro de caule, totalizando três avaliações. Setenta dias após a inoculação ao final do experimento, as seguintes variáveis foram analisadas: Área foliar, número de ovos/vaso, n° de cistos/vaso, n° de ovos/cisto, n° de fêmeas e cistos/sistema radicular, n° de ovos/fêmea e fator de reprodução de *H. glycines*. A parte aérea (caule + folhas) e as raízes foram lavadas e secas em estufa, até atingirem peso constante. Procedeu-se à pesagem das raízes e à pesagem e à moagem da matéria seca da parte aérea. Em seguida, determinaram-se os teores de K e Ca de cada amostra da parte aérea. Somente houve interação significativa entre as doses de K e Ca para n° de ovos por fêmea. As doses de K influenciaram significativamente as seguintes variáveis nematológicas: n° de cistos/vaso, n° de ovos/cisto, n° de ovos/vaso, n° de fêmeas e cistos/sistema radicular e fator de reprodução. Houve decréscimo linear significativo para n° de cistos/vaso e n° de ovos/cisto de acordo com o incremento das doses de potássio no solo. O n° de fêmeas e cistos/sistema radicular, n° de ovos/vaso e o fator de reprodução apresentaram resposta quadrática significativa de acordo com o aumento das doses de K, com redução até a dose de 320,83, 317,45 e 313,51 mg dm<sup>-3</sup> de K no solo respectivamente. A interação potássio-cálcio afetou todas as variáveis agrônômicas analisadas. Observou-se interação potássio-cálcio significativa para os teores de Ca na matéria seca da parte aérea. Os teores de K foram influenciados somente pelas doses de potássio adicionadas ao solo, com aumento no teor de potássio até a dose de 550 mg dm<sup>-3</sup>.

---

\*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador),  
Janice Guedes de Carvalho – UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, J.B. **Influence of potassium and calcium nutrition on the soybean cyst nematode reproduction.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Thesis – Doctorate in Plant Pathology)\*

The objective of this work was to evaluate the reproduction of the soybean cyst nematode (SCN) in soybean plants, as a function of different K and Ca rates. The experiment was conducted in a randomized block design, with twenty treatments and five replicates, with six replicates and one plants per replicate. A factorial scheme (5 x 5) was used with five K rates (0, 150, 300, 450, 600 mg dm<sup>-3</sup>) and five Ca rates (0, 75, 150, 225, 300 mg dm<sup>-3</sup>). Eighteen days after sowing, plants were inoculated with 4.000 *H. glycines* race 3 eggs. Thirty days after inoculation a total of three weekly evaluations were performed considering plant height and stem diameter. Seventy days after inoculation, at the end of the experiment, the following variables were analyzed: foliar leaf, number of eggs/pot, n° cysts/pot, n° eggs/cyst, n° females and cysts/root system, n° eggs/female and reproduction factor of *H. glycines*. Shoot (stem + leaves) and roots were washed and oven-dried until constant weight. Root dry matter was weighed and shoot was weighed and grinded. Then, K and Ca shoot contents of each sample was obtained. There was significative interaction between K and Ca rates for n° of eggs/female. The K rates significantly influenced the following nematological variable: n° of cysts/pot, n° of eggs/cyst, n° of eggs/pot, n° of females and cysts/root system and reproduction factor. There was a significative linear decrease for n° of cysts/pot and n° of eggs/pot according to the increase in K rates in solution. The n° of females and cysts/root system, n° of eggs/pot and reproduction factor presented a significative squared response to K rate, with reductions until 320.83, 317,45 and 313,51 mg dm<sup>-3</sup> of K in the soil, respectively. The potassium-calcium interaction affected all crop-related analyzed variables. A significative potassium-calcium interaction was observed for Ca contents in shoot dry matter. The K contents were only influenced by potassium doses amended to the soil, with increase in the potassium rate up to 550 mg dm<sup>-3</sup>.

---

\*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Major Professor),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA



## 1 INTRODUÇÃO

Desde sua descoberta nos Estados Unidos, em 1954, o nematóide de cisto da soja (NCS) (*Heterodera glycines* Ichinohe, 1952) foi reconhecido como um dos principais problemas fitossanitários dessa cultura, nos principais países produtores. Este nematóide foi detectado no Brasil na safra 1991/92 e, desde então, se disseminou nas lavouras de soja do país. Há relatos de sua ocorrência em mais de sessenta municípios brasileiros (Embrapa, 1997).

Dentre as medidas de manejo do NCS, nenhuma medida isolada foi capaz de promover o seu controle eficiente. O manejo pode ser mais eficaz quando várias técnicas são integradas. O controle mais eficiente e econômico é possível por meio do uso de cultivares resistentes. Como a resistência não é durável, devido à grande variabilidade genética do nematóide, com possibilidade de existência de 16 raças, essa alternativa poderá não solucionar por completo este problema. Dessa maneira, é importante considerar o estudo de alternativas complementares para o manejo de *H. glycines* (Embrapa, 1997). Nas medidas de manejo para reduzir os impactos causados pelo NCS e aumentar a produtividade da soja destaca-se a nutrição mineral.

Assim, quando os elementos minerais requeridos pelo vegetal são fornecidos de forma adequada, a planta, normalmente, apresenta maior capacidade de reação à doença. No entanto, o excesso ou a escassez destes elementos podem tornar as plantas predispostas à ação de agentes causais de doenças. O desequilíbrio nutricional pode contribuir para a mudança na suscetibilidade do hospedeiro, pelo fato de influenciar o vigor e a reação de defesa da planta (Bedendo, 1995).

Em relação aos nutrientes minerais essenciais às plantas, o potássio aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez

da estrutura dos tecidos além de promover rápida recuperação dos tecidos injuriados (Huber & Arny, 1985; Marschner, 1995). Já o cálcio tem papel crítico na divisão e no desenvolvimento celular, na estrutura da parede celular e na formação da lamela média (Huber, 2002). Dessa forma, este trabalho teve como objetivo verificar o efeito de doses de cálcio e de potássio na reprodução do NCS.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia (DFP), na Universidade Federal de Lavras, a uma altitude de 918 m, latitude Sul de 21°14' e longitude Oeste 45°00', no período de fevereiro a abril de 2006.

### 2.1 Obtenção do inóculo de *H. glycines*

O inóculo utilizado de *H. glycines* foi a raça 3, confirmada por meio de testes em cultivares e linhagens diferenciadoras, conforme descrito por Niblack (1992). A população do nematóide foi multiplicada em plantas de soja, cultivar MG BR-46 (Conquista) e mantida em vasos de argila em casa-de-vegetação. Para se obter o inóculo, plantas de soja foram retiradas dos vasos após 30 dias de inoculadas, os sistemas radiculares foram colocados em peneira de 0,85 mm, sobreposta à de 0,18 mm, e direcionados jatos de água que deslocaram as fêmeas e cistos. Para a obtenção dos ovos das fêmeas e cistos foi utilizada a metodologia descrita por Dias et al. (1999), na qual as fêmeas e cistos eram rompidos pressionando-se um béquero sobre eles na própria peneira de 0,18 mm, acoplada a uma de 0,025 mm. Dessa forma, os ovos foram recolhidos na peneira de 0,025 mm e submetidos à centrifugação em solução de sacarose composta de 454 g de açúcar por litro de água, a 2000 rpm por 1 min, visando separá-los das impurezas.

### 2.2 Instalação e condução do ensaio

Sementes de soja cultivar MG BR-46 - (Conquista), suscetível ao NCS, foram semeadas em vasos de argila contendo 3,0 kg de Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) misturado com areia, na proporção de 1:2

(anexos, Tabela 14A), tratados previamente com brometo de metila na dosagem de 150 mL m<sup>-3</sup> de solo, por quatro dias. Essa mistura foi, então, separadamente, colocada em sacos plásticos com capacidade para 12 kg, recebendo doses de potássio correspondentes a 0, 150, 300, 450 e 600 mg.dm<sup>-3</sup> e cinco níveis de cálcio, ou seja, 0, 75, 150, 225 e 300 mg.dm<sup>-3</sup> (Anexos, Tabelas 15A e 16A) e misturada de forma homogênea. Em seguida, despejou-se essa mistura em vasos de argila com capacidade para 3 kg. A inoculação de plântulas de soja foi feita 18 dias após a semeadura, aplicando-se 10 mL de suspensão de ovos do fitonematóide *H. glycines* em 3 orifícios ao redor da haste da planta, a uma profundidade de 2 cm com pipeta graduada, totalizando-se 4.000 ovos provenientes do inóculo multiplicado em soja.

### **2.2.1 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 25 tratamentos e 6 repetições, sendo cada vaso de argila, com uma planta, considerado a unidade experimental. Foi utilizado esquema fatorial 5x5, com cinco doses de K (0, 150, 300, 450 e 600 mg.dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de Ca (0, 75, 150, 225 e 300 mg.dm<sup>-3</sup>).

## **2.3 Quantificação do NCS**

### **2.3.1 Extração de cistos e ovos por cisto de *H. glycines***

Setenta dias após a inoculação, das plântulas de soja, os vasos de cada tratamento foram recolhidos e uma alíquota de 100 cm<sup>3</sup> de solo foi adicionada ao recipiente contendo 1 a 2 L de água. Os torrões foram desmanchados para liberar os nematóides. Após a homogeneização, a suspensão permaneceu em repouso por 15 segundos. Essa suspensão foi vertida em peneira de 0,85 mm sobreposta à de 0,18 mm. Este procedimento foi repetido três vezes e, após o terceiro peneiramento, o resíduo da peneira de 0,18 mm foi recolhido com

auxílio de uma piseta para um copo de béquer. Após a quantificação, o número de cistos por 100 cm<sup>3</sup> de solo foi transformado para vasos, obtendo-se o número de cistos por vaso. Para a obtenção dos ovos dos cistos foi utilizada a metodologia descrita por Dias *et al.* (1999).

### **2.3.2 Avaliação de fêmeas e cistos no sistema radicular e ovos por fêmea de *H. glycines***

Plantas de cada tratamento foram colhidas e os sistemas radiculares lavados com água de torneira sobre peneira de 0,18 mm. O resíduo da peneira de 0,18 mm foi recolhido com auxílio de uma piseta para um copo de béquer. Para a quantificação dos ovos por fêmea, também foi utilizada a metodologia descrita por Dias *et al.* (1999).

### **2.3.3 Fator de reprodução**

O fator de reprodução (Fr) do NCS nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos foi obtido pela divisão entre as densidades populacionais final e inicial ( $Fr = Pf/Pi$ ) para cada tratamento, conforme proposto por Seinhorst (1967), segundo o qual plantas com  $Fr < 1$  foram considerados maus hospedeiros, com  $Fr \geq 1$  bons hospedeiros e  $Fr = 0$  não hospedeiros. Foi considerado como população final o nº de ovos/cisto do solo em todo o vaso + o nº de ovos/cisto + fêmea encontrados nas raízes e como população inicial o número de ovos inoculados por vaso (4000 ovos de *H. glycines*/vaso).

## **2.4 Variáveis agronômicas**

Foram realizadas semanalmente, trinta dias após a inoculação, com o medidor paquímetro, avaliações da altura da planta e diâmetro de caule, totalizando três avaliações. A altura da planta foi medida considerando-se a distância entre o colo da planta e o ponto de inserção da folha mais alta.

#### **2.4.1 Área foliar total**

A área foliar de cada planta foi determinada ao final do experimento, por análise não destrutiva, com medidor 'laser' de área foliar (Laser Area Meter CI 203 – CID Incorp).

#### **2.5 Matéria seca e análise nutricional das plantas**

Setenta dias após a inoculação, a parte aérea (caule + folhas) e as raízes foram lavadas em água destilada e acondicionadas separadamente em sacos de papel e secos em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante. Procedeu-se à pesagem das raízes e à pesagem e moagem da matéria seca da parte aérea. Em seguida, determinaram-se os teores de potássio e cálcio de cada amostra. A parte aérea das plantas foi utilizada para determinação dos teores de K e Ca, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para a determinação de K e Ca as amostras foram submetidas à digestão via seca. As concentrações de cálcio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica e potássio por espectrofotometria de chama.

#### **2.6 Análise estatística**

A análise de variância, assim como as regressões, foram realizadas com o programa Sisvar<sup>®</sup> - versão 4,6 (Build 6.1), do qual foram obtidos a análise de variância e o ajuste de modelos, cujos resultados foram significativos, no teste F, considerando significância fixada em 1% ou 5%. As variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão polinomial. Em seguida, foram plotadas as curvas e as superfícies de resposta, com seus respectivos cortes. Os pontos de máximo e ou mínimo foram obtidos a partir da derivada primeira de cada equação, as quais foram igualadas a zero.

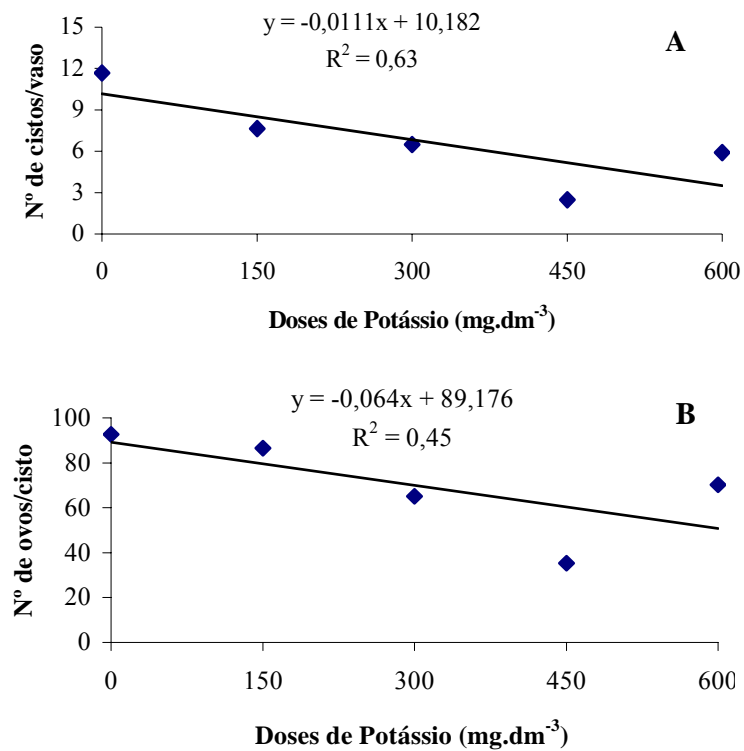
## **2.7 Temperatura e umidade relativa do ar**

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar na casa-de-vegetação foi realizado durante toda a condução do ensaio com termohigrógrafo localizado em abrigo climatológico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação da reprodução de *Heterodera glycines*

O número de cistos de *H. glycines*/vaso e o número de ovos/cisto foram significativamente influenciados pelas doses de K. Houve decréscimo linear de acordo com o aumento das doses de K (Figura 1 A e 1B).





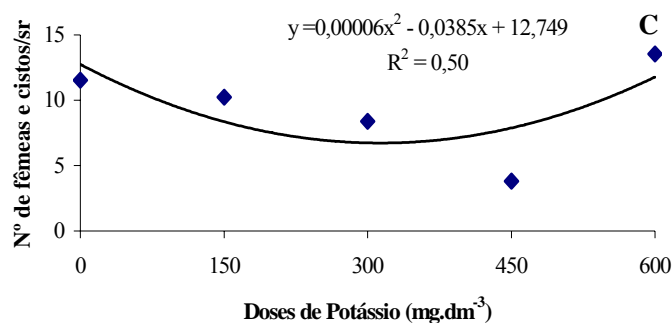


FIGURA 1. Avaliação do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines*), em função de doses de potássio. A = nº de cisto/vaso; B = nº de ovos/cisto e C = nº de fêmeas e cistos/sistema radicular.

Na menor e na maior dose observou-se maior número de fêmeas e cistos por sistema radicular (Figura 1C). Verificou-se com o incremento das doses de K no solo, efeito quadrático significativo, o qual diminuiu da dose zero até a dose 320 mg dm<sup>-3</sup>, com 48,45% de redução. De acordo com este resultado, observou-se que doses de K elevadas aumentaram a população de fêmeas e cistos do NCS por sistema radicular. Assim, tanto a deficiência desse nutriente, quanto o seu excesso favoreceram altas populações deste nematóide.

O aumento do número de fêmeas e cistos por sistema radicular a partir de doses intermediárias de K também está, provavelmente, ligado ao aumento da matéria seca das raízes (Figura 3 D), observado a partir de valores próximos a esta dose, resultando em aumento da população de fêmeas e cistos de *H. glycines*, por oferecer mais sítios de infecção. Wrather et al. (1992) afirmam que o crescimento das raízes de soja é estimulado quando vários nutrientes são acrescentados ao solo e o nível populacional de *H. glycines* aumenta porque mais sítios de alimentação estão disponíveis.

Resultados semelhantes foram obtidos por Rocha (1998). Estudando o efeito da calagem e da adubação potássica, nas dosagens de 0, 30, 60 e 120

kg/ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O sobre a população do NCS, este autor observou, nos estágios de enchimento de vagens e no final do ciclo da cultura, redução acentuada no número de cistos viáveis, à medida que foram aplicadas doses crescentes de K<sub>2</sub>O. O mesmo autor observou redução no número de fêmeas à medida que doses de K<sub>2</sub>O foram aumentadas, até a dose de 106,8 kg de K<sub>2</sub>O/ha. A partir desta dose, o número estimado de fêmeas nas raízes aumentou. Estes resultados confirmam as observações de Shannon et al. (1977) de que manter um balanço nutricional adequado é extremamente importante, especialmente em solos onde *H. glycines* está presente.

Luedders et al. (1979) também obtiveram redução do número de cistos de *H. glycines* em relação a testemunha, com 33,33% e 7,84% de redução, em função de doses crescentes de K (50, 100, 200 e 400 mg), aplicadas em vaso na forma de cloreto e de sulfato de potássio, respectivamente.

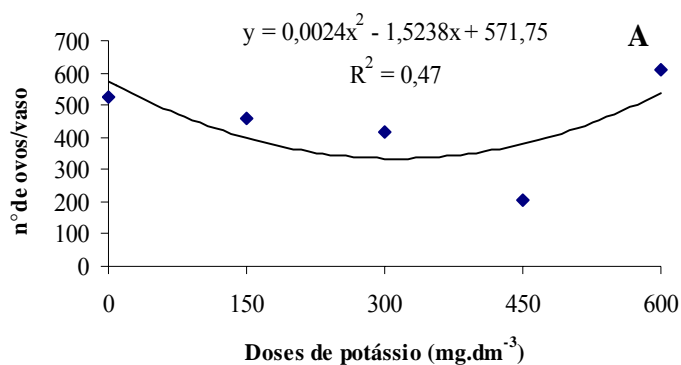
Embora o ponto de mínimo obtido no modelo tenha sido próximo da dose de 320 mg.dm<sup>-3</sup> de K para o número de fêmeas e cistos/sistema radicular e a menor quantidade de cistos/vaso e de ovos/cisto reduzir linearmente com o aumento das doses de K, os menores valores observados foram verificados na dose de 450 mg.dm<sup>-3</sup>, com 48,55%, 49,55% e 32,30% de redução, respectivamente (Figura 1).

Verificou-se redução no número de ovos por vaso de acordo com o incremento das doses de K até a dose de 317,45 mg dm<sup>-3</sup>, com 44,48% de redução (Figura 2 A).

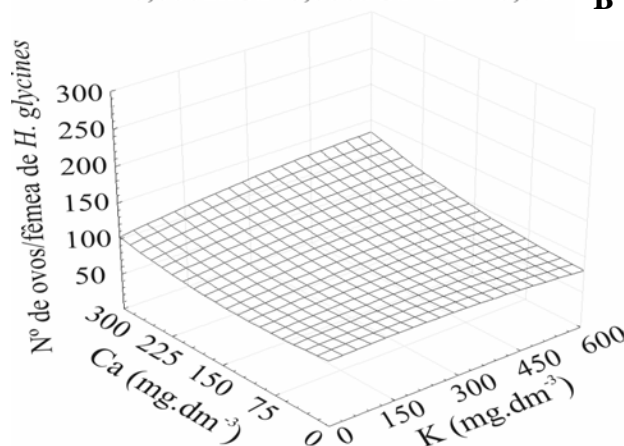
Houve interação significativa potássio-cálcio para número de ovos por fêmea. Quando adicionaram-se 300 e 450 mg.dm<sup>-3</sup> de Ca e K ao solo respectivamente, houve aumento do nº de ovos por fêmea (Figura 2B, 11 e 15).

O aumento das doses de K até 313,51 mg. dm<sup>-3</sup> reduziu ligeiramente o fator de reprodução de *H. glycines* (Figura 2 C). A cultivar conquista MG-BR foi considerada boa hospedeira quando qualquer dose de K foi adicionada ao

solo, pois o fator de reprodução observado no ponto de mínimo foi de 5,42. Este fato pode ser explicado provavelmente pela alta susceptibilidade da cultivar de soja Conquista ao NCS. Também, provavelmente com o aumento da matéria seca das raízes (Figura 3 D), de acordo com o incremento das doses de K a partir de doses próximas de 300 mg.dm<sup>-3</sup>, houve maior disponibilidade dos sítios de penetração nas raízes, aumentando a população final do NCS e conseqüentemente, o fator de reprodução.



$$Z = 90,8134 + 0,0216k - 0,1176Ca - 6,2451e-5k^2 + 0,0002kCa + 0,0005Ca^2 \quad R^2 = 0,74 \quad \mathbf{B}$$



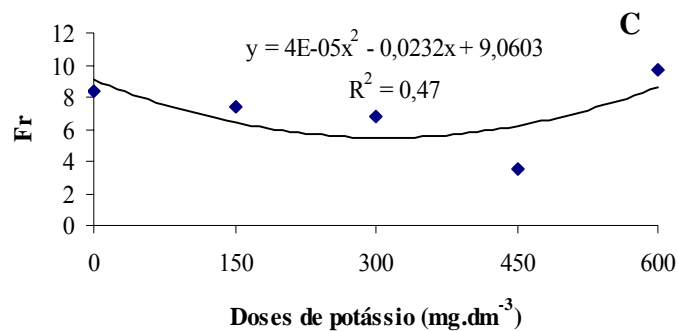


FIGURA 2. Avaliação do nematóide do cisto da soja, em função de doses de potássio e cálcio. A= n° de ovos/vaso; B= n° de ovos por fêmea em função da interação cálcio e potássio e C= Fator de reprodução (Fr)

Em experimentos envolvendo aumento no nível de adubação potássica (0, 50, 100, 200 e 400 mg/vaso) para a soja, foi observado que o elemento K reduz a reprodução de *H. glycines* (Luedders et al., 1979). Assim, a adubação suplementar com potássio para a cultura da soja aumentou o nível de tolerância à alta população de *H. glycines*, quando presente em níveis adequados no solo, devido ao aumento da resistência à penetração e à infecção. De acordo com Huber & Arny (1985) e Marschner (1995), o K aumentou a espessura da parede celular em células da epiderme, promovendo rigidez da estrutura dos tecidos e favorecendo a rápida recuperação dos tecidos injuriados.

Entretanto, segundo Malavolta (2006), o excesso de potássio provoca desequilíbrio nas relações K/Ca e K/Mg; menor formação da lamela média da parede celular por falta de cálcio; quebra do funcionamento normal da membrana plasmática; vazamento de solutos e distúrbios na formação de proteínas e no uso da energia do ATP para sínteses em geral (Malavolta, 2006).

Contudo, as informações disponíveis sobre a correlação entre nutrientes aplicados ao solo, crescimento da planta e a reprodução de *H. glycines* são escassas.

### 3.2 Variáveis agronômicas

Verificou-se efeito negativo da interação potássio-cálcio para todas as variáveis agronômicas analisadas, ou seja, a área foliar (AF), o diâmetro de caule (DC), o comprimento de plantas (CP), a matéria seca das raízes (MSR) e a matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 3) das plantas de soja infestadas com *H. glycines*, com respostas semelhantes para todas as variáveis. Houve tendência de redução destas variáveis até próximo a doses intermediárias de K, com aumento a partir destas, nas doses de 75, 150, 225, 300 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio (Figuras 8, 9, 10, 11). Contrariamente, enquanto houve aumento das doses de Ca, verificou-se aumento até próximo a doses intermediárias deste cátion, com redução a partir destas doses nas doses de 0, 150, 300 e 600 mg.dm<sup>-3</sup> de K (Figuras 12, 13, 14, 16).

A redução e o aumento dos valores destas variáveis agronômicas até doses intermediárias de K e Ca respectivamente, podem ser explicados pelo fato de ocorrer o antagonismo fisiológico entre estes dois cátions, pois o K, em doses excessivas, compete com o cálcio pelos mesmos sítios de absorção das estruturas orgânicas (Marschner, 1995). Tais estruturas funcionam como moléculas transportadoras no processo de absorção ativa, explicando o efeito antagônico do incremento das doses de K nas características agronômicas. Também, baixas concentrações de Ca<sup>2+</sup> estimulam a translocação de íons, provavelmente devido ao seu efeito estabilizador da membrana celular, com estímulo do metabolismo respiratório e o transporte de elétrons (Bergmann, 1992). Porém, altas concentrações de íons Ca<sup>2+</sup> inibem a translocação de outros cátions, por possuir efeito antagônico aos mesmos (Marschner (1995). Além disso, o efeito do K nas

características agronômicas pode ser explicado pelo aumento da pressão osmótica no meio, provocada pelas altas concentrações de  $KNO_3$  presentes nos tratamentos com as maiores doses desse elemento.

O NCS, em razão das alterações morfofisiológicas que provocam nas raízes das plantas infestadas, provavelmente seja também responsável pela redução dos valores das características avaliadas até doses intermediárias de K e a partir de doses intermediárias de Ca. Isso porque o comportamento na absorção destes elementos pelas raízes das plantas pode ser afetado pelo hábito alimentar do NCS que, segundo Wrather et al. (1984) e Tihohod & Santos (1993), altera as funções das raízes e reduz a absorção e o transporte de nutrientes. Alfredo (1999), observou maior altura de planta, número de vagens, peso de semente, número de nódulo, peso de matéria seca da parte aérea e da raiz, na ausência do NCS e, à medida que os níveis populacionais deste nematóide foram elevados, diminuía os valores destas características. Tais dados dão suporte ao trabalho de Noel (1995) que considerou o NCS como um dos parasitos mais destrutivos da soja e que, segundo Agrios (2005), em campos muito infestados, pode causar a completa destruição da cultura.

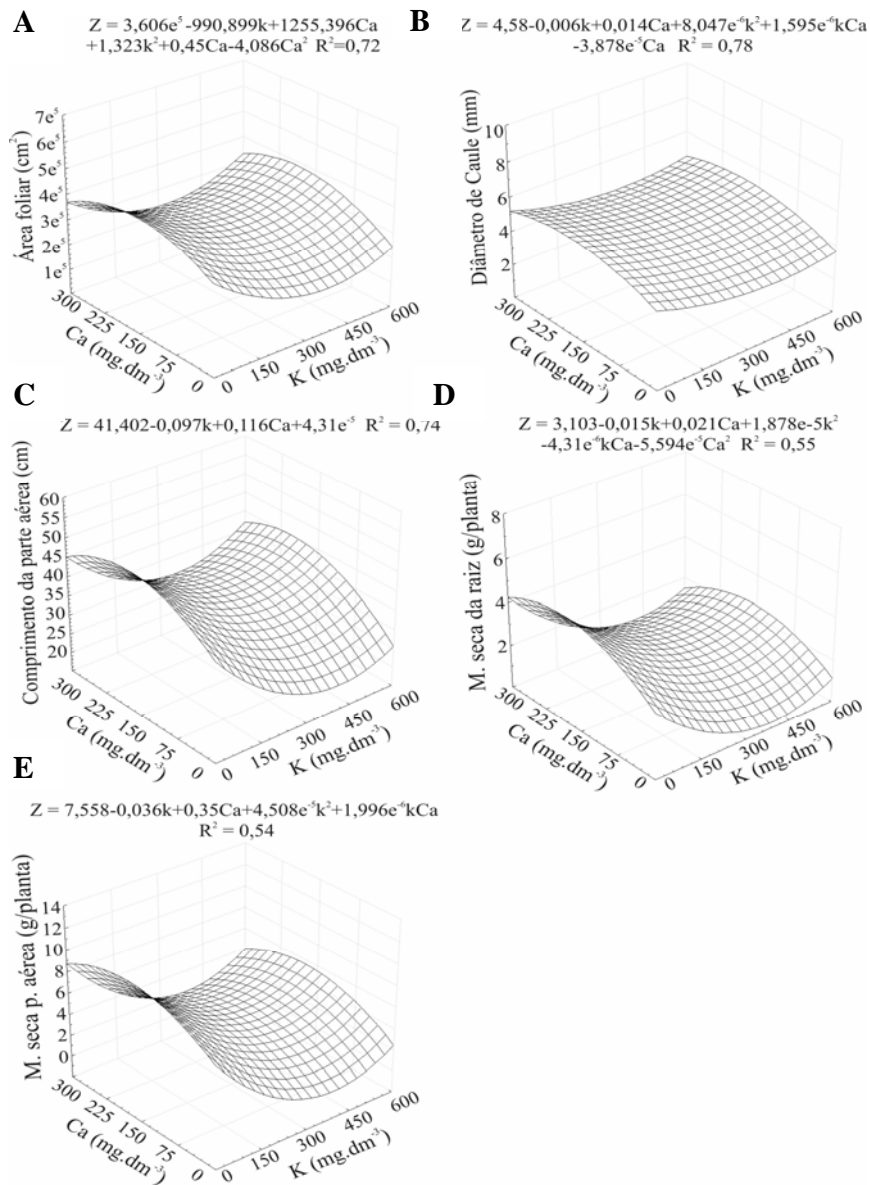


FIGURA 3. Características agrônômicas de plantas de soja inoculadas com *Heterodera glycines*, em função de doses de potássio e cálcio. A = área foliar; B = diâmetro de caule; C = comprimento de plantas; D = matéria seca das raízes e E = matéria seca da parte aérea

Em geral, plantas de soja não apresentam aumentos no crescimento radicular em resposta também à adubação potássica até determinados níveis, o que pode ser consequência da elevada eficiência da translocação do K absorvido para a parte aérea (Rosseto et al., 1995).

De acordo com Sfredo et al. (1994), a deficiência de K pode reduzir a taxa de fotossíntese e aumentar a taxa de respiração. A combinação desses dois fatores resulta, pelo menos, em decréscimo no potencial das reservas de carboidratos na planta, quando há falta de K, podendo causar também menor acúmulo de matéria seca.

Entretanto, Oliveira (2000), com o objetivo de estudar a nutrição potássica da soja em relação à variação dos teores de cálcio (0, 500, 1000, 1500 e 2000 mg.dm<sup>-3</sup> na forma de calcário dolomítico) e potássio (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 mg.dm<sup>-3</sup> na forma de KCl) no solo, verificou que a produção de material seco pela parte aérea das plantas no final do ciclo foi aumentada em 70% com a adubação potássica. O crescimento das raízes foi menor, atingindo aumento de produção de 20% na maior dose de potássio.

### **3.3 Variáveis nutricionais**

#### **3.3.1 Cálcio (Ca)**

Houve interação entre K e Ca para os teores de Ca na matéria seca da parte aérea (MSPA) (Figura 4). Com o aumento das doses de K em todas as doses de Ca, houve redução dos teores de cálcio até doses intermediárias de K (Figuras 8, 9 e 10). Contrariamente, verificou-se aumento dos teores de cálcio com o incremento das doses de cálcio em todas as doses de potássio (Figuras 12, 13, 15 e 16), evidenciando, assim, a competição entre esses dois cátions pelo mesmo sítio de absorção das raízes.



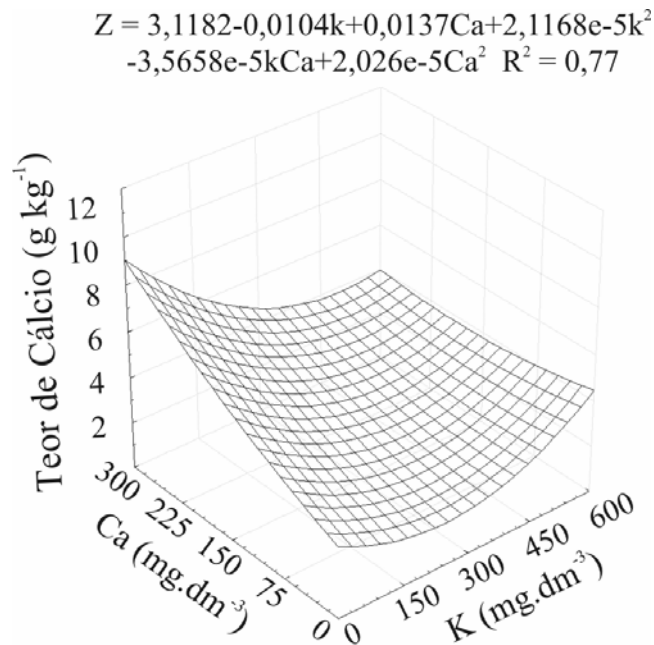


FIGURA 4. Teor de cálcio na parte aérea de plantas de soja inoculadas com *Heterodera glycines*, em função das doses de potássio e cálcio.

Qualquer prática de manejo que promova alteração na concentração dos cátions disponíveis no solo pode, portanto, influenciar na absorção de K, Ca e Mg, além de outros cátions pelas raízes das plantas. A calagem, necessária aos solos ácidos, promove o aumento nas concentrações de Ca e Mg do solo, relativamente à do K, reduzindo sua concentração em solução e, muito embora mantenha o nível de K trocável e até aumente sua capacidade tampão, pode, contudo, reduzir a absorção de K pelas raízes e provocar sua deficiência nos tecidos (Goedert et al., 1975). O K é muito relacionado com a absorção de Ca, cujos teores na matéria seca, em geral, diminuem quando aumenta a dose de K aplicada ou teor no solo deste elemento. Porém, o maior crescimento das plantas

de soja em resposta ao K, provavelmente, faz com que também as quantidades de Ca absorvidas sejam elevadas.

### 3.3.2 Potássio (K)

Houve aumento do teor de K de acordo com o incremento das doses deste nutriente até a dose de 550 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 5).

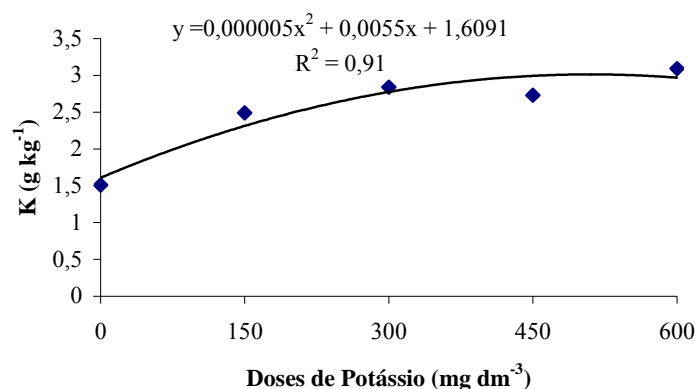


FIGURA 5. Teor de potássio na parte aérea de plantas de soja inoculadas com *Heterodera glycines*, em função de doses crescentes de K.

Resultados semelhantes foram obtidos por Rocha (1998), estudando o efeito da adubação com potássio (0, 50 e 100 kg/ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) em campo, sobre a população de *H. glycines*, este autor observou aumento linear dos teores de K na matéria seca da parte aérea, à medida que são aumentadas as doses de K<sub>2</sub>O, o que é explicado pelo aumento no fornecimento deste nutriente às plantas. Estes resultados concordam com os obtidos por Sfredo et al. (1994) que observaram teores crescentes de K no tecido foliar de soja devido ao aumento das doses de cloreto de potássio aplicadas ao solo.

### 3.4 Dados climáticos

As condições climáticas durante a condução do experimento foram favoráveis ao desenvolvimento do NCS em casa-de-vegetação. A umidade relativa média e a temperatura média registrada durante todo experimento foram de 57,2% e 27,5°C, respectivamente. A temperatura média máxima foi de 35,6°C e a média mínima em torno de 19,3°C (Figura 6). A temperatura é um dos mais importantes fatores físicos que influenciam o desenvolvimento de *H. glycines*. Os juvenis não se desenvolvem, além do segundo estágio, em raízes de soja sob condições de temperatura constante de 10°C. A taxa de desenvolvimento aumenta linearmente entre 10°C e 24°C, e decresce a 30°C (Schmitt & Riggs, 1989). Há interrupção da diapausa quando a temperatura se torna favorável, resultando na rápida eclosão dos juvenis de 2 estágio (Riggs & Schmitt, 1989). Temperaturas próximas a 24°C são mais favoráveis à eclosão e, em temperaturas abaixo de 16°C ou acima de 36°C, não ocorre eclosão (Schmitt & Riggs, 1989).

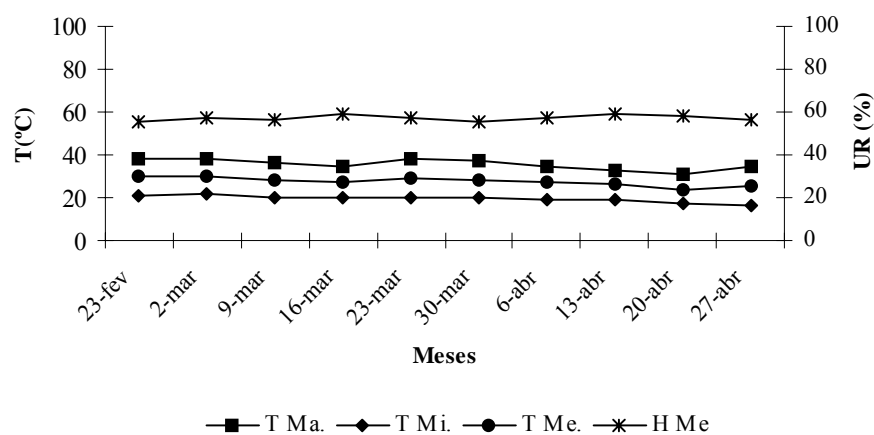


FIGURA 6. Temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) em casa-de-vegetação, durante a condução do ensaio.

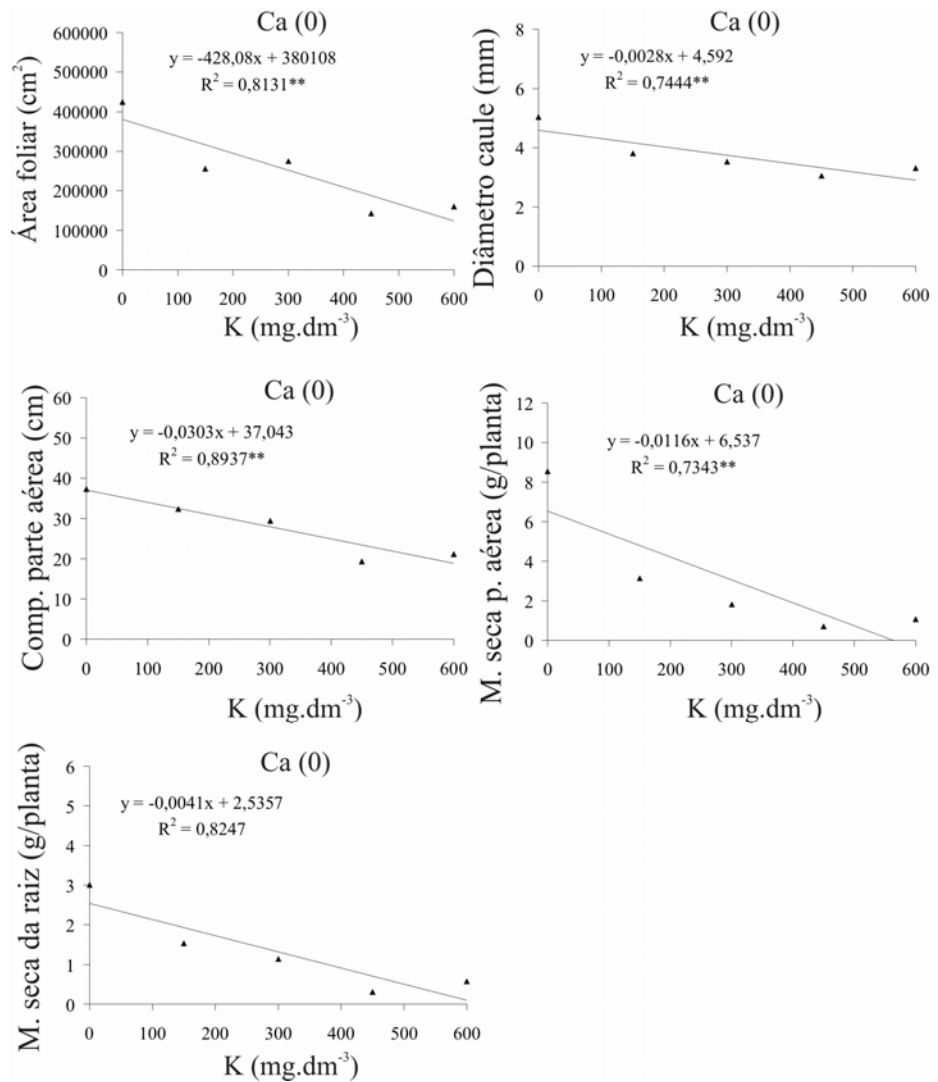


FIGURA 7. Área foliar, diâmetro de caule, comprimento de plantas, matéria seca das raízes e parte aérea de plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 0 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio, em cada dose de potássio.

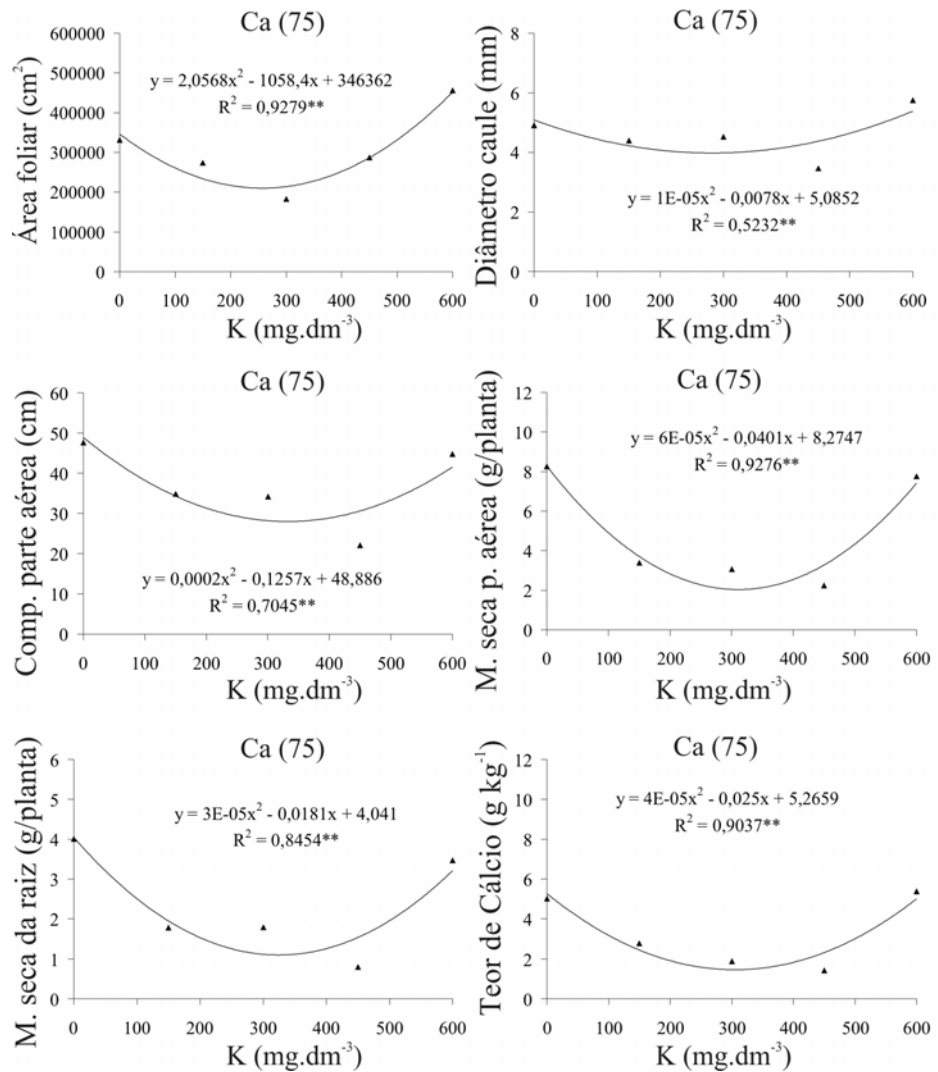


FIGURA 8. Área foliar, diâmetro de caule comprimento da parte aérea, matéria seca das raízes e parte aérea, e teor de cálcio, em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 75 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio, em cada dose de potássio.

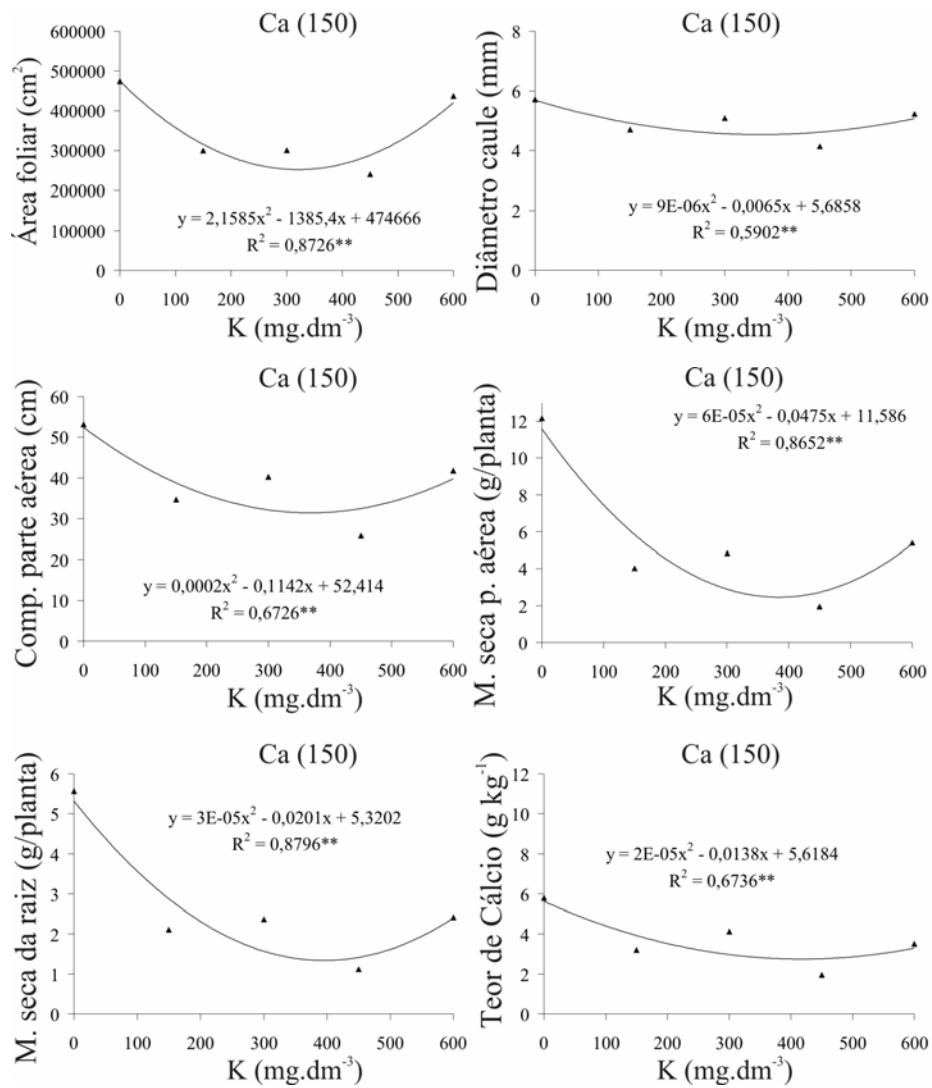


FIGURA 9. Área foliar, diâmetro de caule, comprimento da parte aérea, matéria seca das raízes e parte aérea, e teor de cálcio, em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 150 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio, em cada dose de potássio.

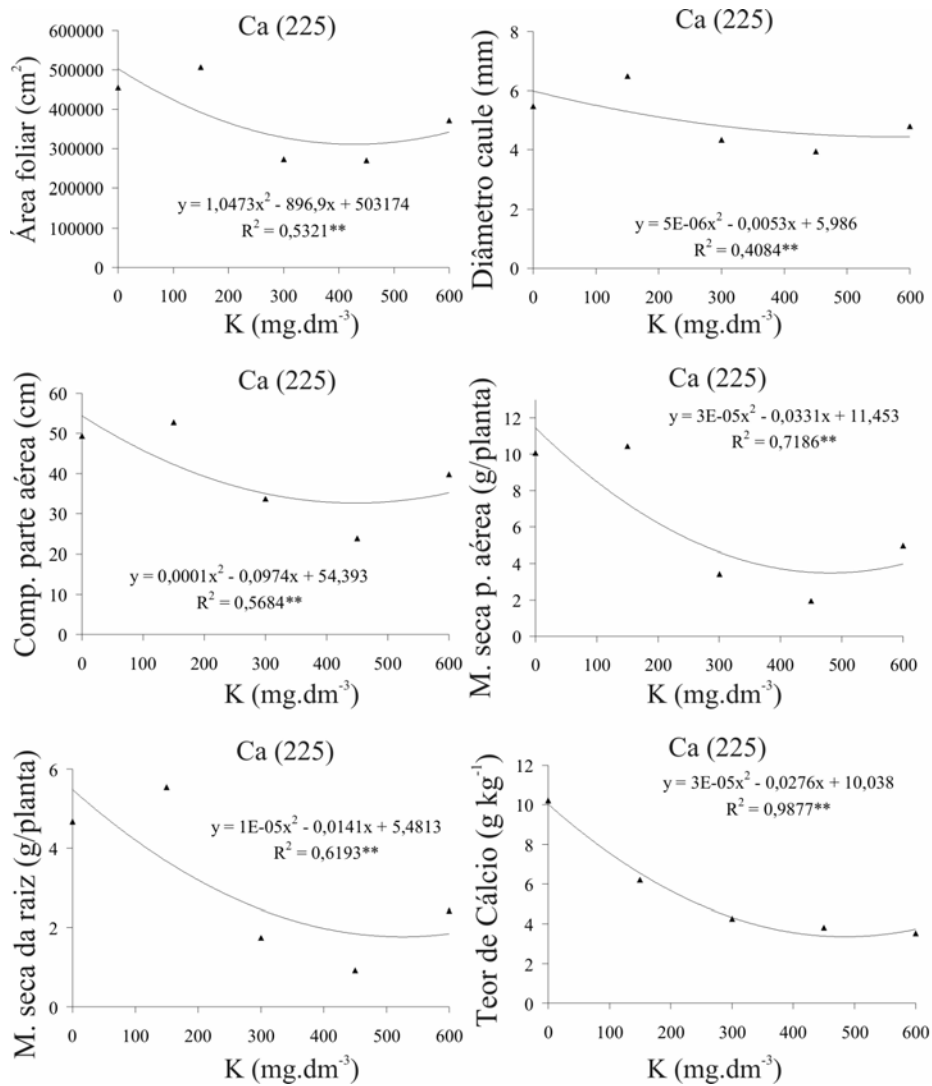


FIGURA 10. Área foliar, diâmetro de caule, comprimento da parte aérea, matéria seca das raízes e parte aérea, e teor de cálcio, em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 225 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio, em cada dose de potássio.

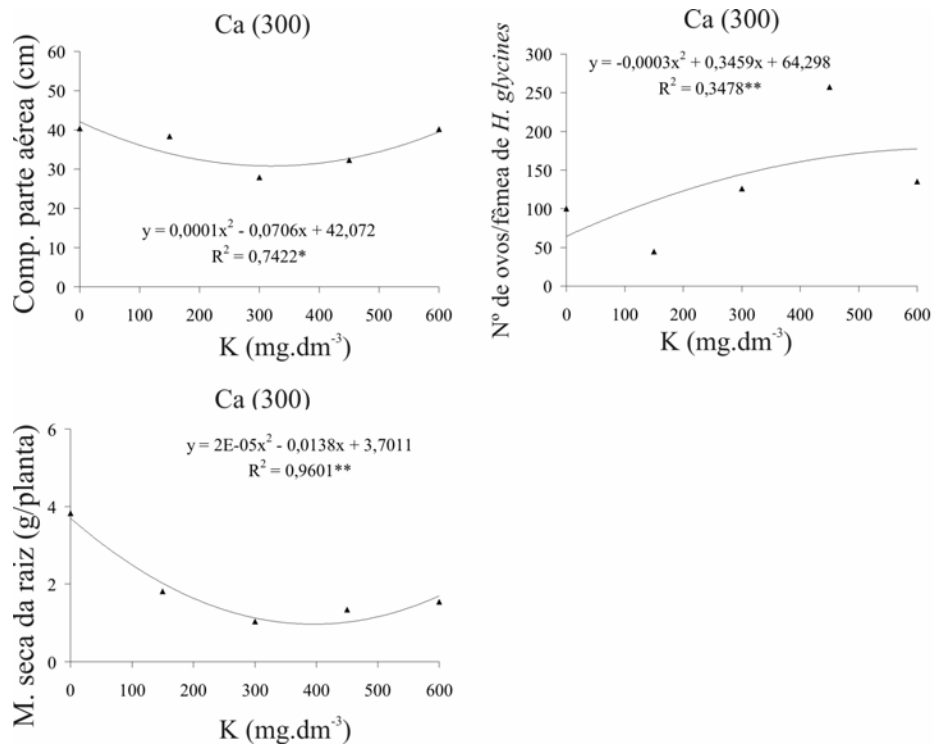


FIGURA 11. Comprimento da parte aérea, matéria seca da raiz e número de ovos por fêmea de *Heterodera glycines* em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 300 mg.dm<sup>-3</sup> de cálcio, em cada dose de potássio.



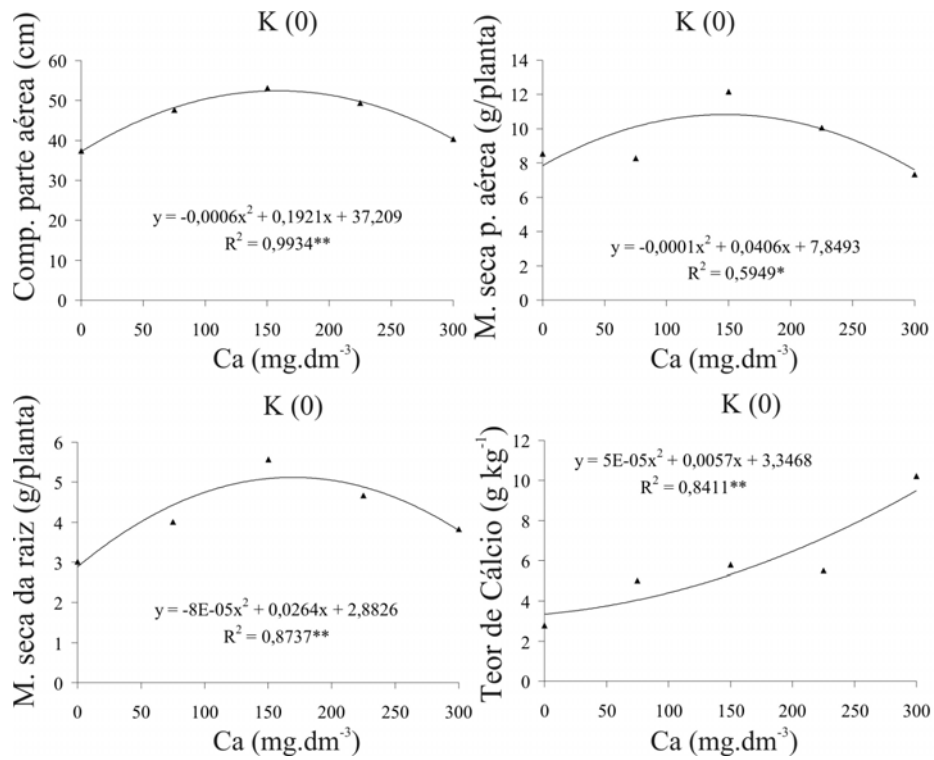


FIGURA 12. Comprimento da parte aérea, matéria seca da parte aérea e raiz e teor de cálcio em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose zero mg.dm<sup>-3</sup> de potássio, em cada dose de cálcio.

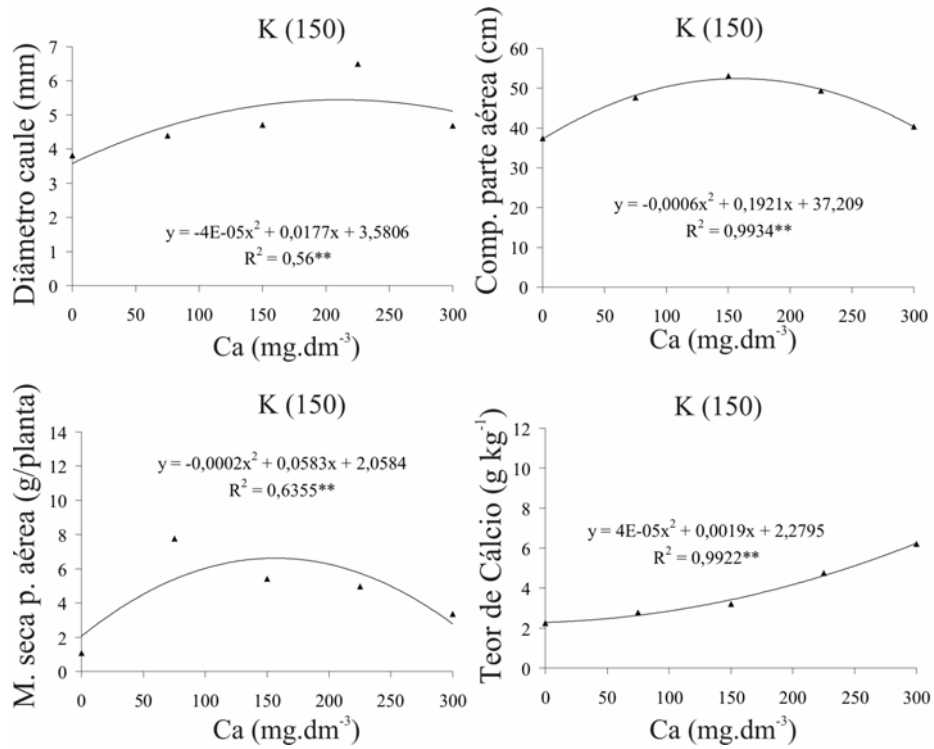


FIGURA 13. Diâmetro de caule, comprimento da parte aérea, matéria seca da parte aérea e teor de cálcio, em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 150 mg.dm<sup>-3</sup> de potássio, em cada dose de cálcio.

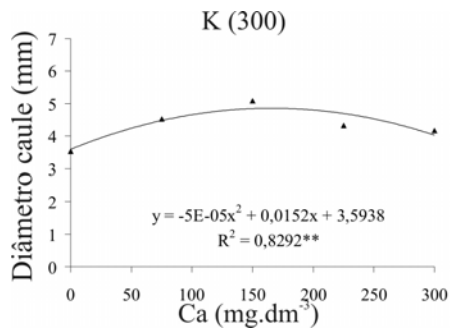


FIGURA 14. Diâmetro de caule em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 300 mg.dm<sup>-3</sup> de potássio, em cada dose de cálcio.

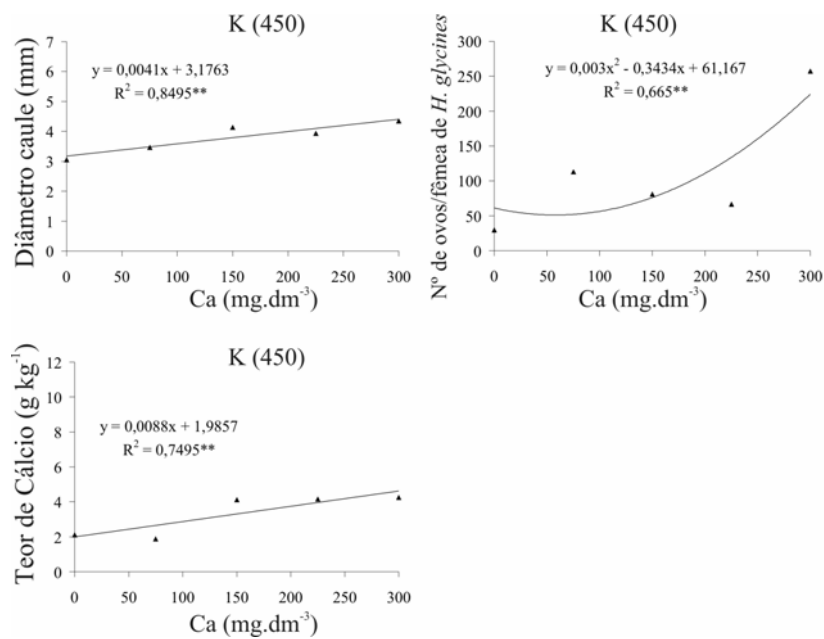


FIGURA 15. Diâmetro de caule, nº de ovos de *Heterodera. glycines* por fêmea e teor de cálcio em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 450 mg.dm<sup>-3</sup> de potássio, em cada dose de cálcio.

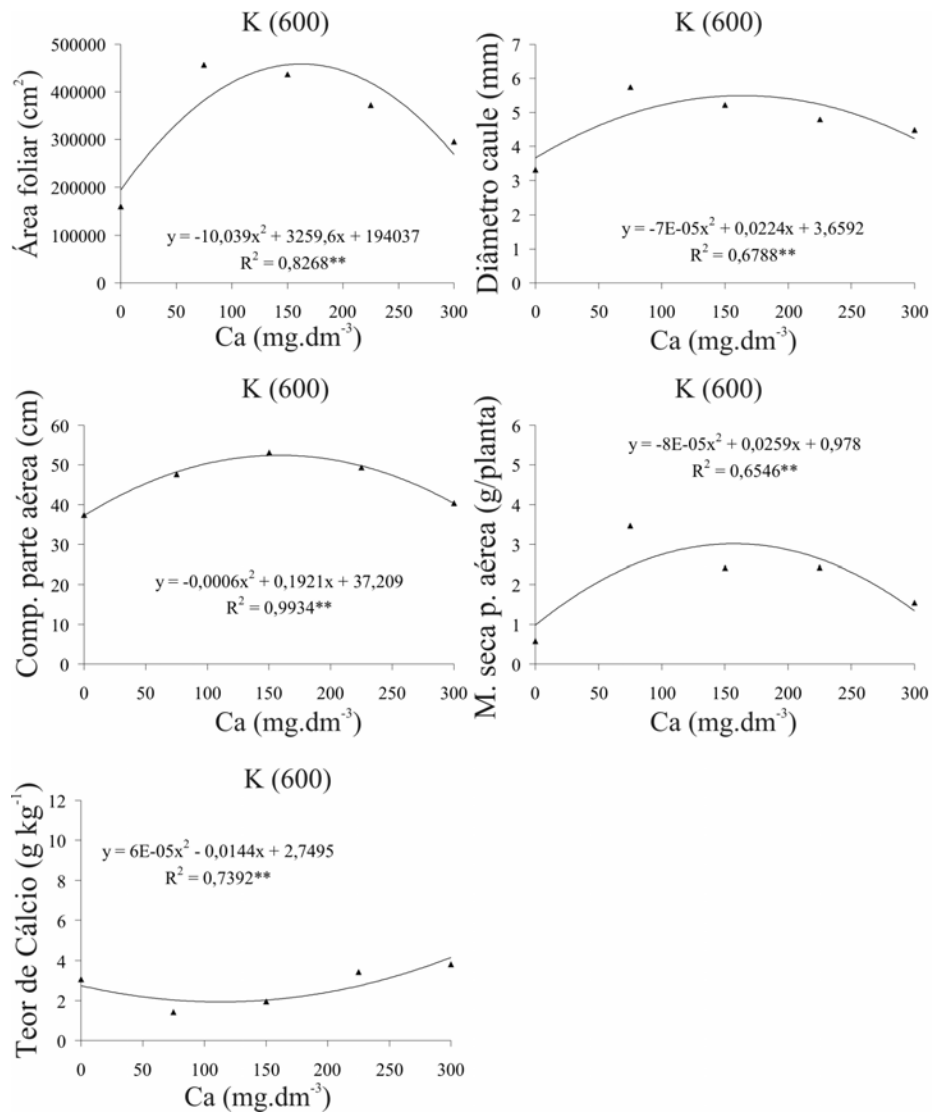


FIGURA 16. Área foliar, diâmetro de caule, comprimento da parte aérea, matéria seca da parte aérea e teor de cálcio em plantas de soja inoculadas com o nematóide do cisto da soja, em função da dose 600 mg.dm<sup>-3</sup> de potássio, em cada dose de cálcio.

## 4 CONCLUSÕES

Houve interação significativa entre as doses de potássio e cálcio para n° de ovos por fêmea de *H. glycines*.

As doses de potássio influenciaram significativamente as seguintes variáveis nematológicas: n° de cistos/vaso, n° de ovos/cisto, n° de ovos/vaso, n° de fêmeas e cistos/sistema radicular e fator de reprodução.

Houve decréscimo linear significativo para n° de cistos/vaso e n° de ovos/cisto, de acordo com o incremento das doses de potássio no solo. O n° de fêmeas e cistos/sistema radicular, o n° de ovos/vaso e o fator de reprodução apresentaram resposta quadrática significativa de acordo com o aumento das doses de potássio, com redução até a dose de 320,83, 317,45 e 313,51 mg dm<sup>-3</sup> de potássio no solo, respectivamente.

A interação potássio-cálcio afetou todas as variáveis agronômicas analisadas: área foliar, diâmetro de caule, comprimento de plantas, matéria seca das raízes e da parte aérea.

Houve interação potássio-cálcio significativa para os teores de Ca na matéria seca da parte aérea. Os teores de K foram influenciados somente pelas doses de potássio adicionadas ao solo, com aumento no teor de potássio até a dose de 550 mg dm<sup>-3</sup>.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. **Environmental effects on the development of infectious plant disease**. In: Plant pathology. 5. ed. New York, Academic Press. 2005. p. 251-262

ALFREDO, M.M. **Teores de Nutrientes e características agronômicas da soja influenciados por nematóide de cisto (*Heterodera glycines* Ichinohe), *Bradyrhizobium japonicum* e Nitrogênio, e danos causados por percevejos**. Viçosa: UFV, 122p, 1999 (Tese de Doutorado)

BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. & AMORIN, L. (ed) Manual de Fitopatologia. 2ª ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1995. p. 331-341.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants**: development, visual and analytical diagnosis. New York. G. Fischer. 1992. 741 p.

DIAS, W. P. et al. Distribuição de raças de *Heterodera glycines* no Brasil. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA. **O nematóide de cisto da soja**: a experiência brasileira. Jaboticabal: Artsingner Editores, 1999. p. 95-103.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de pesquisa da Embrapa soja 1996**. Londrina, EMBRAPA – CNPSo, 1997. 217p. (Documentos, 104)

GOEDERT, W. J.; COREY, R.B.; SYERS, J.K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.120, n.2, p.107-11, 1975.

HUBER, D.M. & ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D (ed.) **Potassium in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSA, 1985. p. 467-488.

HUBER, D. M. **Relationship Between Mineral Nutrition of Plants and Disease Incidence**. In: Workshop – Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. Piracicaba: Potafós, 08 e 09/05/2002, Anais e Vídeo..., CD-ROM – vídeo 01, 2002.

LUEDDERS, V. D.; SHANNON, J. G. & BALDWIN JUNIOR., C.H. Influence of rate and source of potassium on soybean cyst nematode reproduction on soybean seedlings. **Plant Disease**, St. Paul, v.63, n.7, p.558-560, July. 1979.

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª. Ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

NIBLACK, T. L. The race concept. In: RIGGS, E. D.; WRATHER, J. A. (Ed.). **Biology and management of the soybean cyst nematode**. St. Paul: APS, 1992. p. 73-86.

NOEL, G. R. The soybean cyst nematode. In: LAMBERT, F., TAYLOR, C.H. (eds) **Cyst nematodes**. New York: Plenum Press, 1995. p.257-268.

OLIVEIRA, F.A. de. **Calagem e Adubação Potássica em soja cultivada em casa-de-vegetação**. Piracicaba: USP, 69p, 2000 (Tese Doutorado)

ROCHA, M. R. da. **Efeitos de fatores edáficos sobre populações de *Heterodera glycines* (Ichinohe, 1952)**. Goiânia: UFGO, 108p, 1998. (Tese de Doutorado).

RIGGS, R. D. & SCHMITT, D.P. Soybean cyst nematode. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4, 1988, Buenos Aires. **Proceedings**. Buenos Aires, Association Argentina de la Soja, 1989. p. 1448-1453.

ROSSETO, C.A.V.; FERNANDES, D.M.; ISHIMURA, I.; ROSOLEM, C.A. Diferentes respostas de cultivares de soja ao potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.10, p.1225-1231, out. 1995.

WRATHER, J. A.; ANAND, S.C. & DROPKIN, V. H. Soybean cyst nematode control. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, n.9, p.829-833, Sept. 1984.

WRATHER, J. A.; ANAND, S.C. & KOENNING, S. R. Management by cultural practices. In: RIGGS, R. D. & WRATHER, J. A. (ed.) **Biology and management of the soybean cyst nematode**. St. Paul, APS, 1992. p. 125-131.

SCHMITT, D.P. & RIGGS, R. D. Population dynamics and management of *Heterodera glycines*. **Agricultural Zoology Reviews**, Hants, v. 3, p. 253-269, 1989.

SEINHORIST, J. W. The relationship between population increase and population density in plant parasitic nematodes. I Definitions of the terms host, host status and resistance. 4. The influence of external conditions on the regulations of population density. **Nematologica**, Leiden, v.13, p.429-450, 1967.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CATTELAN, A.J. & HUNGRIA, M. Adubação e calagem para soja no Brasil. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 4, n.1, abr., p.19-43, 1994.

SHANNON, J. G.; BALDWIN, C.H.; COLLIVER, G. W. & HARTWIG, E. E. Potash fertilizer helps fight soybean cyst nematode. **Better Crops With Plant Food**, Georgia, v.61, p.566-569, 1977.

TIHOHOD, D., SANTOS, J. M. *Heterodera glycines*: **novo nematóide da soja no Brasil. Detecção e medidas preventivas**. Jaboticabal: Centro de Manejo integrado de Pragas – CEMIP/FUNEP, 1993. 23p.



## **CAPÍTULO 5**

### **INFLUÊNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO NEMATÓIDE DO CISTO DA SOJA**

## RESUMO

PINHEIRO, J.B. **Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide do cisto da soja.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Tese – Doutorado em Fitopatologia)\*

A distribuição espacial do nematóide do cisto da soja (NCS) foi avaliada com o uso da geoestatística. Neste experimento, foram coletadas amostras de solo em lavoura de soja, localizada no município de Uberlândia, MG. Foram coletados 30 pontos amostrais, de 20 em 20 m na reboleira e na periferia da mesma, nos estádio R6 do ciclo da cultura, totalizando uma área de 0,8 ha onde cada ponto foi georreferenciado por meio de GPS. Em cada ponto amostral foram coletadas 5 subamostras na profundidade de 20 cm que foram homogeneizadas e retiradas duas amostras, uma para análise nematológica e outra para análise de fertilidade. Na análise dos dados foi utilizado o software GS + V.7.0<sup>®</sup> para a obtenção dos semivariogramas e mapas. Para as variáveis juvenis de segundo estádio, teor de K, Ca e pH do solo houve forte dependência espacial. As variáveis cistos viáveis, não viáveis e ovos/cisto de *H. glycines* apresentaram moderada dependência espacial. Para juvenis de segundo estádio, apenas 14% da variação das amostras foi aleatória. Para cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto de *H. glycines*, 27%, 47% e 41% respectivamente da variação das amostras foi ao acaso. Os teores de Ca, K e pH no solo apresentaram, respectivamente, 0,0612%, 3,1% e 0,14% de aleatoriedade. Houve alta correlação visual e de Pearson entre as variáveis juvenis de segundo estádio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto com os teores de Ca. Teores de Ca elevados no solo foram altamente correlacionados com os valores altos de pH. Para os teores de potássio, houve correlação visual e de Pearson com a variável cisto viável no solo. Ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis analisadas do NCS, com alcances para juvenis, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto de 44,5; 63,1; 59,7 e 48,1 m, respectivamente. Para os teores de Ca e pH do solo, ajustaram-se os modelos gaussianos e para o teor de K no solo, o modelo esférico com alcances de 26,9, 28,1 e 472,850 m para teor de K, Ca e pH, respectivamente.

---

\*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador),  
Janice Guedes de Carvalho – UFLA

## ABSTRACT

PINHEIRO, J.B. **Influence of mineral nutrition on the spatial distribution of soybean cyst nematode.** Lavras: UFLA, 2007. 175p. (Thesis – Doctorate in Plant Pathology)\*

The spatial distribution of soybean cyst nematode (SCN) was evaluated by using geostatistics. In this experiment, soil samples were collected in a soybean field, located in Uberlândia city, Minas Gerais State, Brazil. Thirty sampling points were collected every 20m insite and around the borders of nematode patches at the R6 crop cycle, representing a 0.8 ha where each point was georeferenced using a GPS. In each sampling point, five sub-samples were collected at 20cm-depth, homogenized and separated into two smaller samples, one for nematological analysis and the other for fertility purposes. In the data analysis, the GS + V.7.0<sup>®</sup> software was used to generate semiovariograms and maps. For the second stage juveniles, K and Ca contents and pH in the soil there was a strong spatial dependence. Variables viable and non-viable cysts and eggs/cystm of *H. glycines* presented moderated spatial dependence. For the second stage juveniles, only 14% of the sample variation was randomly distributed. For viable and non-viable cysts and eggs/cyst of *H. glycines* respectively 27%, 47% and 41% of the sample variation was randomly distributed. The Ca and K contents and pH in the soil presented respectively 0.0612%, 3.1% and 0.14% randomization. There was a high visual and Pearson's correlation between Ca content and the variables second stage juveniles, viable and non-viable cysts and eggs/cyst. High Ca contents in the soil were highly correlated with high pH values. For potassium contents there was visual and Pearson's correlation with viable cyst in the soil. All SCN analyzed variables better fitted to the spherical model and ranges for juveniles, viable and non-viable cysts and eggs/cyst of respectively 44.5; 63.1; 59.7 and 48.1 m. The Ca content and pH in the soil adjusted to the Gaussian model and K content in the soil to the spherical model and ranges were 26.9, 28.1 and 472.850 m for K and Ca contents and pH, respectively.

---

\*Guidance Committee: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Major Professor),  
Janice Guedes de Carvalho - UFLA

## INTRODUÇÃO

Desde sua descoberta nos Estados Unidos, em 1954, o nematóide de cisto da soja (NCS) (*Heterodera glycines* Ichinohe) foi reconhecido como um dos principais problemas fitossanitários desta cultura, nos principais países produtores (Embrapa, 1997).

O manejo do NCS, assim como de outras espécies de fitonematóides, é particularmente difícil, principalmente por suas dimensões microscópicas e por habitar a rizosfera. Sendo assim, o produtor desconhece quais áreas de sua propriedade estão infestadas ou isentas desses organismos (Santos Júnior, 2002).

Além da difícil visualização destes patógenos, os solos dos cerrados apresentam baixa fertilidade natural, com desequilíbrios nutricionais geralmente causados por formulações inadequadas de adubo e, principalmente, por calagem excessiva na superfície. Embora os fertilizantes sejam largamente utilizados na agricultura, sua ação na redução do estresse causado por *H. glycines* e por outras doenças recebe pouca atenção. Como o estado nutricional da planta de soja influi também no número de nematóides que dela se alimentam, o monitoramento de nematóides e da fertilidade do solo é de fundamental importância para orientar as práticas de manejo e as técnicas de recuperação de áreas infestadas (Yorinori, 1994).

A distribuição de nematóides no campo é descrita como agregada, o que implica numa dependência espacial e requer processos adequados de amostragem, determinação e análise dos dados, para obter informações sobre seu comportamento. Os métodos estatísticos normalmente utilizados geralmente não são apropriados para descrever dados que estão correlacionados espacialmente (Clark, 1979).

Assim, a teoria da variável regionalizada, conhecida como geoestatística, é uma metodologia para a análise de dados que estão correlacionados dessa forma. Por meio da geoestatística é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial dos nematóides no solo. Uma vez detectada a dependência espacial entre as observações, o processo de Krigagem permite estimar valores em locais não amostrados. O mapeamento permite visualização espacial dos nematóides na área de interesse, o que constitui aspecto de inquestionável importância para seu controle, com apoio às decisões sobre manejo de populações desses patógenos (Farias, 1999).

Desse modo, este trabalho teve como objetivo verificar a relação entre a fertilidade do solo com a distribuição espacial do NCS, utilizando como ferramenta a geoestatística.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização do experimento

O ensaio foi conduzido em área cultivada com soja, cultivar MG-BR 46 – (Conquista), semeada em 20 de novembro de 2005, em Latossolo Amarelo Distroférico (LVdf), localizada no município de Uberlândia, MG, na Agropecuária Marataí S/A, nas coordenadas geográficas: 19° 20' latitude S; 47° 51' de longitude W e 978 m de altitude.

### 2.2 Seleção da área

A área foi selecionada em função da presença de *H. glycines*, confirmada pela extensa reboleira e presença de fêmeas no sistema radicular.

### 2.3 Pontos amostrais e coleta

Foram coletados 30 pontos amostrais de 20 em 20 m na reboleira e periferia da mesma, nos estádio R6 (pleno enchimento das vagens) do ciclo da cultura, totalizando uma área de 0,8 ha, em que cada ponto foi georreferenciado por meio de GPS. Em cada ponto amostral foram coletadas cinco subamostras na profundidade de 20 cm utilizando trado. Essas foram homogeneizadas e retiradas duas amostras, uma para análise nematológica e outra para análise de fertilidade. O processamento para extração, identificação e quantificação dos nematóides e as análises químicas e físicas foram realizados no Laboratório de Nematologia e de Ciência do Solo, respectivamente, dos Departamentos de Fitopatologia e de Solos da Universidade Federal de Lavras. Os atributos físicos da área com a presença de *H. glycines* encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Atributos físicos da área com reboleira do nematóide do cisto da soja (NCS). UFLA, Lavras, MG, 2006.

<b>Atributos</b>	<b>To</b>
Areia (dag/Kg <sup>-1</sup> )	15
Silte (dag/Kg <sup>-1</sup> )	24
Argila (dag/Kg <sup>-1</sup> )	61

OBS: Textura argilosa

De acordo com a metodologia de coleta, não se efetuou qualquer modificação nos trabalhos normais do produtor quanto ao preparo e à adubação do solo, plantio, condução, tratos fitossanitários e colheita da cultura. Apenas a área foi escolhida e georreferenciada a coleta.

## **2.4 Quantificação do NCS**

### **2.4.1 Juvenis de segundo estágio**

Para análises nematológicas, foi utilizado o método da flutuação centrífuga com solução de sacarose (Jenkins, 1964), tomando-se alíquotas de 100 cm<sup>3</sup> de solo para cada ponto amostral. A suspensão obtida foi utilizada para a determinação do número de juvenis de segundo estágio no solo, com auxílio da câmara de contagem.

### **2.4.2 Extração de cistos e ovos por cisto de *Heterodera glycines***

Alíquota de 100 cm<sup>3</sup> de solo de cada ponto amostral foi adicionada ao recipiente contendo 1 a 2 L de água. Os torrões foram desmanchados para liberar nematóides presentes nos mesmos. Após a homogeneização, a suspensão permaneceu em repouso por 15 segundos. Essa suspensão foi vertida em peneira de 0,85 mm, sobreposta à de 0,18 mm. Este procedimento foi repetido três vezes e, após o terceiro peneiramento, o resíduo da peneira de 0,18 mm foi recolhido, com auxílio de uma piseta, para um copo de béquer. Para a obtenção dos ovos

dos cistos, foi utilizada a metodologia descrita por Dias et al. (1999), na qual os cistos foram rompidos pressionando-se um béquer sobre eles na própria peneira de 0,18 mm, acoplada a uma de 0,025 mm. Dessa forma, os ovos foram colhidos na peneira de 0,025 mm e submetidos a uma centrifuga o em soluço de sacarose composta de 454 g de a ugar por litro de água, a 2.000 rpm por 1 min, visando separá-los das impurezas.

### **2.5 Análises de fertilidade**

As análises químicas das amostras foram realizadas de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

### **2.6 Análise geoestatística**

A dependência espacial foi analisada com o uso da geoestatística, por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposi o de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de Burrough & McDonnell (1998). O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em fun o do quadrado médio do erro, do erro padrão de predi o e da autovalida o ('Jack Knife'). Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpola o dos dados por krigagem ordinária, de forma a possibilitar a visualiza o de padrões de distribui o espacial das variáveis na lavoura. Foi utilizado, para ajustar os semivariogramas e plotar os mapas de krigagem, o software GS+ v.7.0<sup>®</sup>.

### **2.7 Dados climáticos**

As varia es médias diárias de precipita o (mm), temperatura ( C) e umidade relativa do ar (%), no período de novembro de 2004 a abril de 2005, foram registradas em esta o climatológica da Fazenda Agro Industrial Eldorado-S/A e gentilmente cedidas pelo gerente da propriedade.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Juvenis de segundo estágio, cistos viáveis e não viáveis e ovos/cisto de *Heterodera glycines*

Para as variáveis juvenis de 2º estágio de *H. glycines*/100 cm<sup>3</sup> de solo, observou-se forte estrutura de dependência espacial, de acordo com a relação  $Co/Co+C$ , com apenas 14% de aleatoriedade das amostras. As variáveis cistos viáveis e não viáveis de *H. glycines*/100 cm<sup>3</sup> de solo e ovos por cisto apresentaram moderada dependência espacial com 27%, 47% e 41% respectivamente de aleatoriedade das amostras (Tabela 1).

Com base nas semivariâncias experimentais ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis analisadas do NCS. Verificaram-se alcances para juvenis de 2º estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto de *H. glycines* de 44,5m; 63,1m; 59,7m e 48,1 m, portanto, a estatística clássica pode ser aplicada a partir de amostras coletadas acima destas distâncias, ou seja o raio de dependência espacial e de domínio da geoestatística para essas variáveis encontra-se nos valores até essas respectivas distâncias (Tabela 1 e Figuras 1, 2, 3 e 4).

TABELA 1. Parâmetros dos semivariogramas isotrópicos experimentais obtidos nas diferentes variáveis analisadas em área de soja infestada pelo nematóide do cisto da soja (NCS). Uberlândia, MG, 2006.

Variável	Modelo	Co	Co+C	Ao	Co/Co+C
j2/100 cm <sup>3</sup>	esférico	8400	57170	44,5	0,14
cv/100 cm <sup>3</sup>	esférico	639	2335	63,1	0,27
cnv/100 cm <sup>3</sup>	esférico	2970	6210	59,7	0,47
ovos/ cisto	esférico	5830	13950	48,1	0,41
potássio	esférico	32	1001	26,9	0,031
cálcio	gaussiano	0,001	1.634	28,1	0,00061
pH	gaussiano	0,001	0,408	472.850	0,0024

j2/100 cm<sup>3</sup>=juvenis de segundo estágio por 100 cm<sup>3</sup> de solo; cv/100 cm<sup>3</sup>=número de cistos viáveis por 100cm<sup>3</sup> de solo; cnv/100 cm<sup>3</sup>=número de cistos não viáveis por 100 cm<sup>3</sup> de solo; ovos/cisto=número de ovos por cisto; Co=efeito pepita; Co+C=patamar; Ao=alcance; K (razão) =Co/Co+C ≤ 0,25=forte dependência espacial; 0,25≤Co/Co+C≤0,75=moderada dependência espacial; 0,75<Co/Co+C<1,00=fraca dependência espacial; Co/Co+C=1,00=variável independente espacialmente (efeito pepita puro)

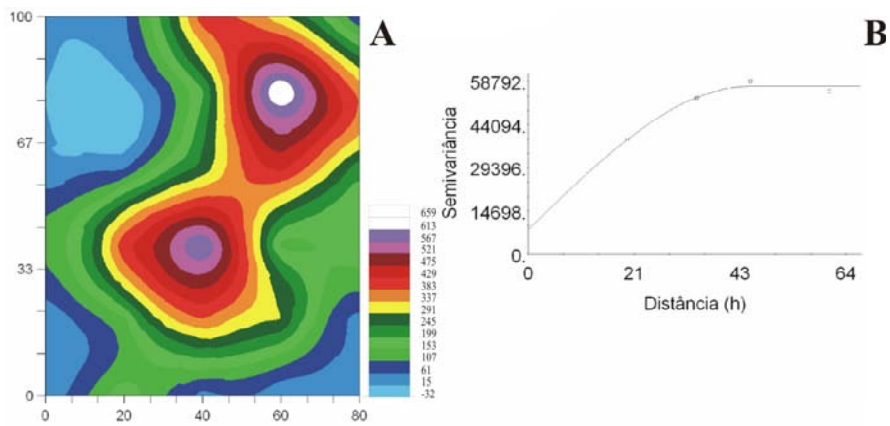


FIGURA 1. Número de juvenis de segundo estágio de *Heterodera glycines* por 100 cm<sup>3</sup> de solo. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

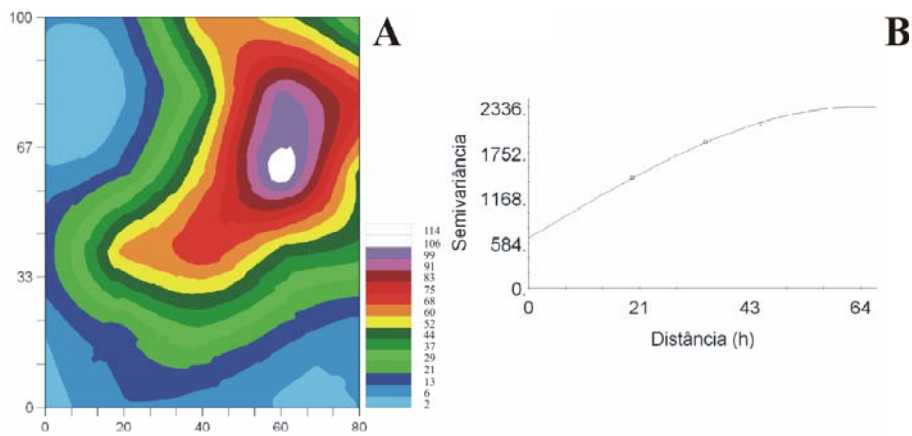


FIGURA 2. Número de cistos viáveis de *Heterodera glycines* por 100 cm<sup>3</sup> de solo. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

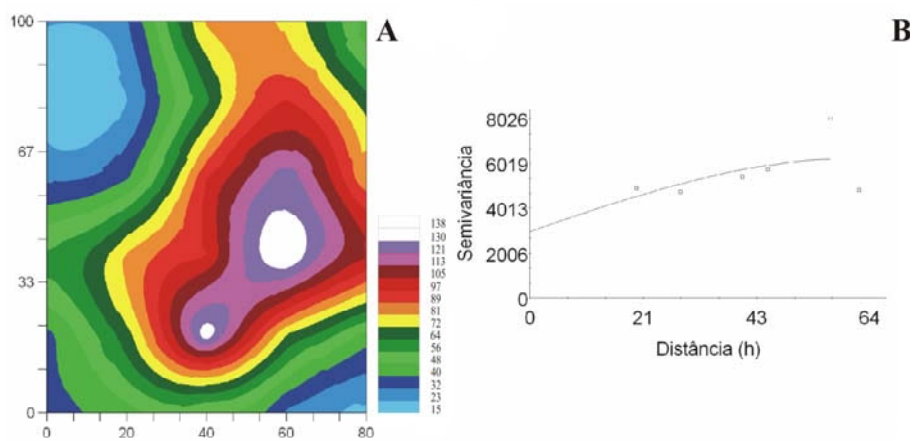


FIGURA 3. Número de cistos não viáveis de *Heterodera glycines* por 100 cm<sup>3</sup> de solo. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

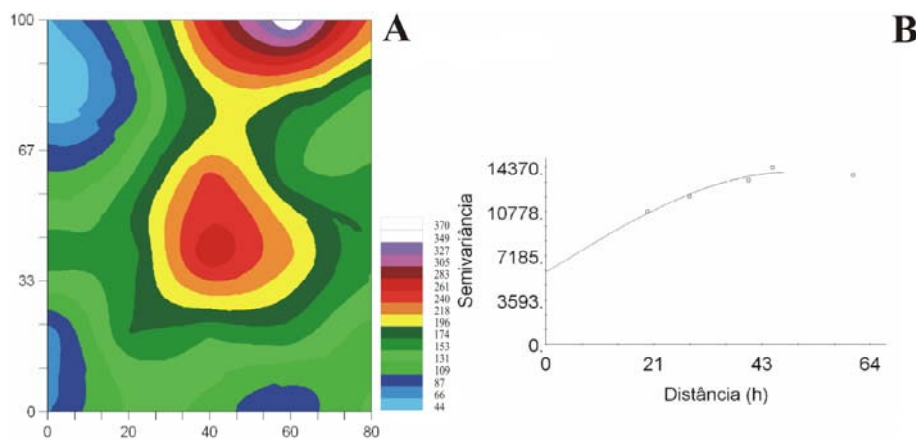


FIGURA 4. Número de ovos por cisto de *Heterodera glycines*. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

A moderada dependência espacial de cistos de *H. glycines* observada em campo provavelmente pode estar ligado ao fato da disseminação dos cistos desta

espécie ocorrer principalmente por máquinas e veículos dos próprios agricultores, ao deslocarem de uma área para outra. O vento também é um fator bastante importante, redistribuindo rapidamente os cistos do nematóide nas propriedades agrícolas (Andrade & Asmus, 1997).

A escolha adequada do modelo esférico para representar a distribuição espacial de *H. glycines* neste trabalho concorda com trabalhos realizados com outras espécies de nematóides. Assim, Caswell & Chellemi (1986) estudaram a distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* em plantação de abacaxi no Havaí, em área de 40 m x 116 m e concluíram que a distribuição espacial de *R. reniformis* é fortemente agregada. Os autores usaram a geoestatística e observaram o ajuste do modelo esférico, apresentando alcance da dependência espacial de 10 m.

Chen & Bird (1992) fizeram estudo geostatístico para *Pratylenchus penetrans* em cultura de batata numa grade de 100 m x 100 m. O semivariograma também apresentou modelo esférico, tendo na direção nordeste, apresentado baixa densidade populacional mostrando anisotropia, isto é, os semivariogramas não são iguais para todas as direções.

Entretanto, Webster & Boag (1992) não observaram anisotropia nas distribuições espaciais de duas espécies de nematóides (*Globodera rostochiensis* e *Heterodera avenae*) em campos no leste da Escócia, contando os cistos viáveis na camada superficial do solo. A distribuição espacial de ambas as espécies foi fortemente agregada. Os semivariogramas apresentaram a mesma forma esférica em todas as amostragens, apresentando alcance efetivo de 60 m para a dependência espacial.

Wallace & Hawkins (1994) estudaram a aplicação da geoestatística para avaliar dados de solos e de nematóides de 200 amostras de solo coletadas do horizonte Ap de um campo de grama-canário no norte de Minnessota e observaram, para ambas as variáveis, também modelo de semivariograma

esférico, com pouca variabilidade aleatória associada com dados de solo e grande variabilidade inerente aos dados de nematóide. Com a krigagem dos dados de solo e do nematóide, produziram-se mapas de contorno (isolinhas) satisfatórios dos dados.

### **3.2 Teores de cálcio, potássio e pH do solo**

Para os teores de cálcio, potássio e pH do solo, verificou-se forte dependência espacial, indicada pelo componente (K), com 0,0612%, 3,1% e 0,14% de aleatoriedade, respectivamente. Ajustou-se o modelo esférico para o teor de K e o modelo gaussiano para os teores de Ca e pH do solo, com alcances observados de 26,9m, 28,1m e 472,85 m, para teor de K, Ca e pH respectivamente. Os parâmetros dos semivariogramas, bem como o alcance da dependência espacial para essas variáveis, encontra-se nos valores até essas respectivas distâncias (Tabela 1 e Figuras 5, 6 e 7).

A forte dependência espacial observada para estas variáveis leva a questionamentos sobre o número de observações necessárias para estimar valores das propriedades do solo de uma área com suficiente precisão e representatividade. Por essa razão, Mc Bratney & Webster (1983) enfatizaram a importância do conhecimento da dependência espacial das propriedades do solo na redução do esforço de amostragem, segundo a qual o solo, em locais próximos, tende a ser mais similar do que entre locais distantes; uma observação, portanto, carrega consigo qualquer informação da sua vizinhança. Na amostragem ao acaso, algumas observações são tomadas juntas, duplicando a informação em alguma extensão. Assim, o conhecimento do alcance da dependência espacial de uma variável de reconhecimento pode minimizar esse aspecto, reduzindo a intensidade e o esforço da amostragem.

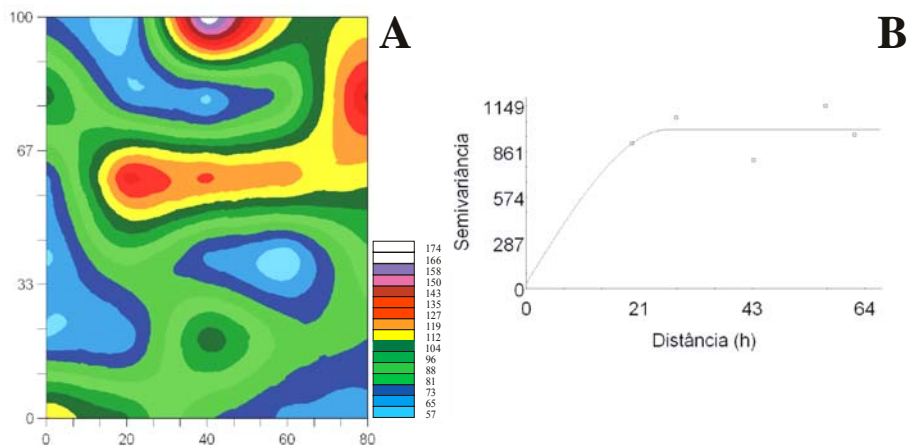


FIGURA 5. Teor de potássio ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) em solo infestado pelo nematóide do cisto da soja. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

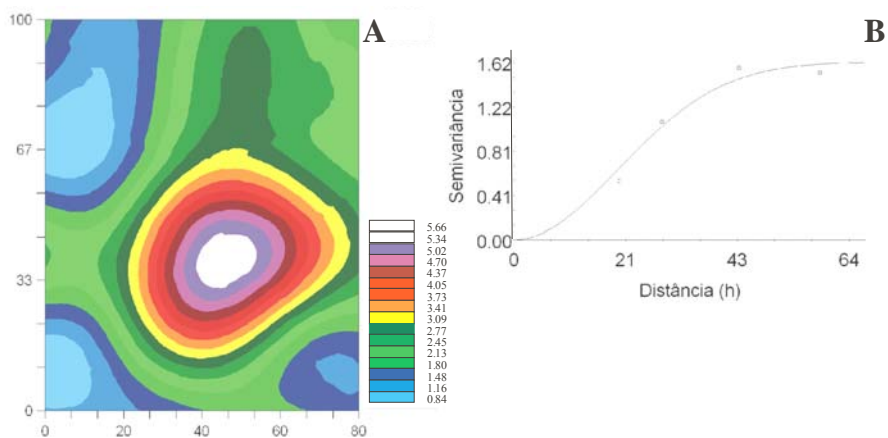


FIGURA 6. Teor de cálcio ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ ) em solo infestado pelo nematóide do cisto da soja. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

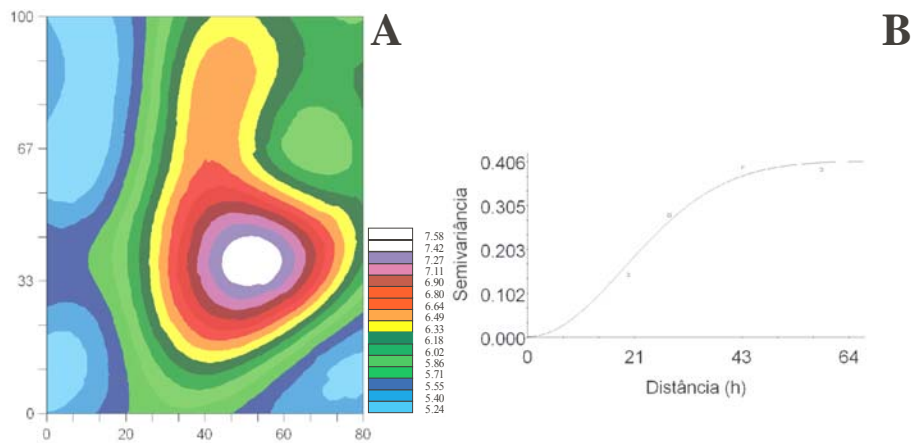


FIGURA 7. pH de solo infestado pelo nematóide do cisto da soja. A = mapa de krigagem, B = semivariograma

### 3.3 Correlações

Observou alta correspondência visual por meio dos mapas de krigagem entre as variáveis do NCS: juvenis de 2º estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto com os teores de Ca. Maiores valores dos teores de Ca ( $5,66 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ ) coincidem visualmente no mapa com valores altos de juvenis ( $659 \text{ J2}/100 \text{ cm}^3$  de solo), cistos viáveis ( $114/100 \text{ cm}^3$  de solo), cistos não viáveis ( $138/100 \text{ cm}^3$  de solo) e ovos por cisto ( $370 \text{ ovos/cisto}$ ) (Figuras 1, 2, 3, 4 e 6). Esta correlação visual pode ser confirmada pelas correlações significativas positivas de Pearson (Tabela 2).



TABELA 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis do nematóide do cisto da soja com os teores de potássio (K), de cálcio (Ca) e o pH do solo.

Variáveis	K	Ca	pH
j2/100 cm <sup>3</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>**</sup>	0,60 <sup>**</sup>
cv/100 cm <sup>3</sup>	0,41 <sup>*</sup>	0,55 <sup>**</sup>	0,51 <sup>**</sup>
cnv/100 cm <sup>3</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>**</sup>	0,64 <sup>**</sup>
ovos/cisto	0,14 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>**</sup>	0,57 <sup>**</sup>
K	-	0,00360 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
Ca	0,000360 <sup>ns</sup>	-	0,92 <sup>**</sup>
pH	0,14 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>**</sup>	-

j2/100 cm<sup>3</sup>=juvenis de segundo estágio por 100 cm<sup>3</sup> de solo; cv/100 cm<sup>3</sup>=número de cistos viáveis por 100cm<sup>3</sup> de solo; cnv/100 cm<sup>3</sup>=número de cistos não viáveis por 100 cm<sup>3</sup> de solo; ovos/cisto=número de ovos por cisto; K=teor de potássio em mg/dm<sup>3</sup> de solo; Ca=teor de cálcio em cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de solo.

\*= significativo, a 5% de probabilidade.

\*\*= significativo, a 1% de probabilidade.

<sup>ns</sup> = não significativo

Sologuren & Santos (1997), estudando as características químicas de solo em reboleiras de soja com *H. glycines*, também encontraram correlações positivas entre as densidades de cistos viáveis e de juvenis de segundo estágio (J2) com valores de pH, Ca, Mg e saturação de bases. O pH apresentou correlação positiva com o total de cistos e ovos por cisto viável. De acordo com os autores, as características químicas do solo interferem na dinâmica populacional do nematóide.

Entretanto, Rocha et al. (2006), avaliando o efeito de doses crescentes de calcário (0; 0,675; 1,35; 2,7 e 4,05 t.ha<sup>-1</sup>) sobre a população do NCS em casa-de-vegetação, observaram que o número de fêmeas diminuiu à medida que aumentaram as doses de calcário, até a dose de 3,039 t. ha<sup>-1</sup>, e o número de

cistos no solo reduziu linearmente à medida que foram aumentadas as doses de calcário. De acordo com o autor, a redução observada na população, em função de doses crescentes de calcário, pode ser explicada pelas condições controladas em que foi realizado o experimento. A dose de 1,35 t. ha<sup>-1</sup> de calcário, utilizada em casa-de-vegetação, possivelmente não foi suficiente para atingir a saturação por bases de 50% e, conseqüentemente, as outras doses não atingiram proporcionalmente, os níveis esperados. É importante observar que experimentos com calcário, no início, podem não apresentar resultados significativos em função do tempo necessário para a sua reação com outros componentes do solo.

Porém, este fato não observado na área de realização das amostragens, pois o calcário foi aplicado dois meses antes da semeadura, que ocorreu em novembro de 2005, com as amostragens realizadas em março de 2006, tempo suficiente para reações no solo.

Os teores de Ca elevados no solo (5,66 cmolc.dm<sup>-3</sup>) estão altamente correlacionados com os valores altos de pH (7,58) (Tabela 2, Figuras 6 e 7). A adição de Ca ao solo por meio da calagem ou outras táticas de manejo, aumentam o pH do solo (Malavolta, 2006; Sfredo et al., 1994), com importância para a atividade dos nematóides, ainda que seus efeitos prováveis sejam indiretos.

Assim, a calagem superestimada em solos do cerrado brasileiro aumentou o pH e saturação por bases e a população de cistos persistiu alta mesmo após o cultivo de um ou dois anos de milho (Canevese, 1996; Garcia & Silva, 1996; Silva et al., 1997). Em outros estudos, observaram-se resultados que confirmam essa tendência (Anand et al., 1995; Francl, 1993; Pereira et al., 1997).

Dessa forma, os resultados encontrados na literatura confirmam os obtidos neste ensaio. Provavelmente, o pH alto do solo condiciona dois fatores

desfavoráveis à soja cultivada nestas condições: a redução na população de fungos antagonistas do NCS, reduzindo a taxa de controle natural, e a imobilização de alguns micronutrientes no solo, diminuindo a tolerância das plantas. Essa redução da tolerância das plantas possivelmente está ligada ao aumento do parasitismo de *H. glycines* observado com o aumento dos teores de Ca e pH no solo.

Por outro lado, de acordo com Anand et al. (1995), solos com pH de 6,5 e 7,5 são favoráveis ao crescimento da soja, o que deve resultar em maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, melhores condições para o desenvolvimento de sítios de infecção, aumentando, assim, a população do NCS.

Porém, existem espécies de nematóides que sobrevivem melhor em faixas de valores de pH intermediárias. Schmitt (1989) afirma que maior população de *Belonolaimus longicaudatus* Rau e, geralmente, menores produtividades obtidas na cultura da soja, em solo com pH 6,0, são indicações de que a relação patógeno-hospedeiro é mais favorecida nesse pH do que em solos mais ácidos ou mais alcalinos. Maiores produtividades obtidas em solo com pH em torno de 6,7 podem ser explicadas pela maior disponibilidade de cálcio o que, nesta condição, é importante para a nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio.

A população de *Helicotylenchus pseudorobustus* (Steiner) Golden apresentou correlação positiva com o pH do solo, entretanto, *Xiphinema americanum* Cobb apresentou correlação negativa em campos de produção de soja no estado de Iowa (Norton et al., 1971).

Para os teores de K no solo, houve somente correlação visual, por meio dos mapas de krigagem, com a variável cisto viável no solo (Figura 2 e 5). Regiões do mapa onde ocorrem maiores níveis dos teores de K ( $174 \text{ mg.dm}^{-3}$ ) coincidem com os maiores valores de cistos viáveis no solo ( $114 \text{ cistos}/100 \text{ cm}^3$  de solo). Esta correlação significativa positiva foi confirmada pela correlação de

Pearson (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos no capítulo 4, para a variável ovos/fêmea de *H. glycines*, no qual observaram-se, na interação potássio e cálcio, maiores valores para a variável número de ovos por fêmea (195,068), na dose de 450 mg.dm<sup>-3</sup> de K, com o aumento das doses de Ca e na dose de 300 mg.dm<sup>-3</sup> de Ca, com o aumento das doses de K, tendo sido encontrados valores de 514,13 ovos/fêmea do NCS. (capítulo 4, Figuras 2B, 11 e 15). As correlações não significativas encontradas para maioria das variáveis do NCS com os teores de K (Tabela 2), provavelmente são explicadas pelo fato de o excesso de Ca acentuar eventual carência de K no solo, por causa do antagonismo entre estes dois cátions (Malavolta, 2006), confirmando os resultados obtidos em campo.

### **3.4 Dados climáticos**

As condições climáticas durante a condução da cultura no campo onde foram feitas as amostragens foram favoráveis ao desenvolvimento do NCS. A umidade relativa, a pluviosidade e a temperatura média registrada de novembro de 2005 até março de 2006, mês no qual foi realizada a amostragem, foram de 69,2%, 324 mm e 24,1°C, respectivamente. Com temperatura média máxima de 30,3°C e a média mínima em torno de 17,6°C (Figura 8). A temperatura é um dos fatores físicos mais importantes que influenciam o desenvolvimento de *H. glycines*, como discutido no capítulo 4.

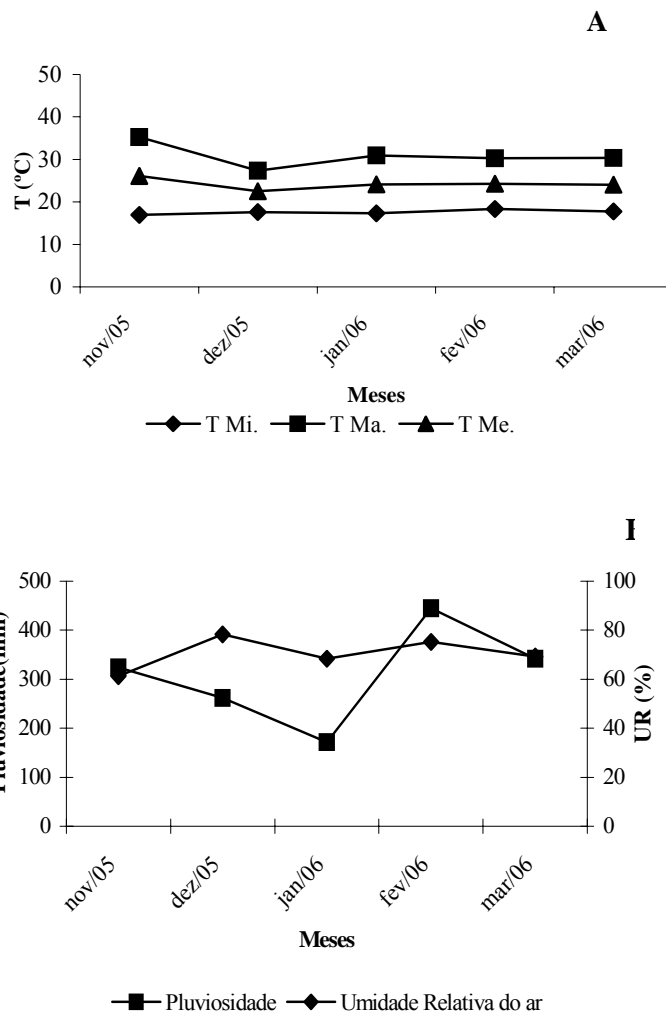


FIGURA 8. Variação climática durante a condução da cultura no campo. A=temperatura (T) e B=pluviosidade e umidade relativa do ar (UR).

## 4 CONCLUSÕES

Para as variáveis juvenis, teor de K, Ca e pH do solo houve forte estrutura de dependência espacial. As variáveis cistos viáveis e não viáveis de *H. glycines* e ovos/cisto apresentaram moderada estrutura de dependência espacial.

Ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis analisadas do NCS, com alcances para juvenis, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos/cisto de 44,5m; 63,1m; 59,7m e 48,1m, respectivamente.

Para juvenis de 2º estágio, houve apenas 14% de aleatoriedade das amostras. Para cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos/cisto de *H. glycines*, 27%, 47% e 41% respectivamente da variação das amostras é são ao acaso. As amostras dos teores de Ca, K e pH no solo apresentaram, respectivamente, 0,0612%, 3,1% e 0,14% de aleatoriedade.

Para os teores de Ca e pH do solo, ajustaram-se os modelos gaussiano e, para o teor de K no solo, o modelo esférico com alcances de 26,9m, 28,1m e 472,85m para teor de K, Ca e pH, respectivamente.

Houve alta correspondência visual e de Pearson entre as variáveis juvenis de segundo estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos/cisto com os teores de Ca.

Teores de Ca elevados no solo foram altamente correlacionados com altos valores de pH.

Para os teores de K, houve correlação visual e de Pearson, com a variável cisto viável no solo.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAND, S. C.; MATSON, K.W.; SHARMA, S.B. Effect of soil temperature and pH on resistance of soybean to *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, Hanover, v.27, n.4, p.478-482, Oct. 1995.

ANDRADE, P.J.M.; ASMUS, G. L. Disseminação do nematóide de cisto da soja, *Heterodera glycines*, pelo vento durante o preparo do solo. **Nematologia Brasileira**, v.21, n.1, p.98-100, 1997.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CANEVESE, G. Controle do nematóide de cisto na cultura da soja na região tropical nos cerrados do Brasil. 1996. 15p. (Boletim Técnico nº 1)

CASWEL, E.P., CHELLENMI, D.A. A geostatistical analysis of spatial pattern of *Rotylenchus reniformis* in a Hawaiian pineapple field. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.18, p.603, Oct. 1986.

CHEN, J., BIRD, G.W. Geostatistical studies of a geo-referenced *Pratylenchus penetrans* - *Solanum tuberosum continuum*. **Journal of Nematology**, v.24, n.4, p.586, 1992.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. Essex: Applied Science Publishers, 1979. 129p.

DIAS, W. P. et al. Distribuição de raças de *Heterodera glycines* no Brasil. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA. **O nematóide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Jaboticabal: Artsingner Editores, 1999. p. 95-103.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de pesquisa da Embrapa soja 1996**. Londrina, EMBRAPA – CNPSo, 1997. 217p. (Documentos, 104)

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística, em um solo com rotação de culturas**. Tese Doutorado, Jaboticabal, FCAV-UNESP, 1999, 109p.

FRANCL, L. J. Multivariate analysis of selected edaphic and their relationship to *Heterodera glycines* population density. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.25, n.2, p.270-276, 1993.

GARCIA, A.; SILVA, J.F.V. Interação entre a população de cistos de *Heterodera glycines* e o pH do solo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.21, p.420, 1996 (suplemento)

JENKINS, F. G. W. A rapid centrifugal-flotation technique for extracting nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.

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

McBRATNEY, A. B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, v.135, n.3, p.177-183, 1983.

NORTON, D. C.; FREDERICK, L.R.; PONCHILLIA, P. E.; NYHAN, J. W. Correlations of nematodes and soil properties in soybean fields. **Journal of Nematology**, Lakeland, Florida, v. 3, n.2, p.154-163, 1971.

PEREIRA, J. E.; SILVA, J.F.V.; GARCIA, A.; LANTMANN, A.F. Análise multivariada na seleção de fatores químicos do solo e sua relação com a densidade populacional do nematóide de cisto e rendimento da cultura da soja, p.61, 1997. In: XX Congresso Brasileiro de Nematologia, Gramado, 1997. Resumos...Gramado: Sociedade Brasileira de Nematologia

ROCHA, M. R.; CARVALHO, Y.; CORRÊA, G.C.; CATTINI, G. P.; PAOLINI, G. Efeito de doses crescentes de calcário sobre a população de *Heterodera glycines* em soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, nº. 2, p.89-94, 2006



SANTOS JÚNIOR, R. F **Resposta espectral de plantas de soja cv. BRS133 infectadas por *Heterodera glycines* ou *Meloidogyne javanica***. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 53 p, 2002 (Dissertação de Mestrado)

SCHMITT, D. P. Effect of soil pH on nematicide efficacy on soybean. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.21, n.4, p.615-618, Supl., Oct. 1989.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CATTELAN, A.J; HUNGRIA, M. Adubação e calagem para soja no Brasil. **Informativo Abrates**, Londrina, v.4, nº 1, abr., p.19-43, 1994.

SILVA, J.F.V.; GARCIA, A.; PEREIRA, J. E.; HIROMOTO, D. Nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe). **Resultados de pesquisa da Embrapa – soja 1996**, Londrina, EMBRAPA – CNPSo, 1997. 217p. (Documentos, 104),

SOLOGUREN, L.J.; SANTOS, M A. Estudo de características químicas de solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, Brasília, v.22, (suplemento), ago., p.329, 1997.

WALLACE, M.K., HAWKINS, D.M. Applications of Geostatistic in plant nematology. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.26, n.4, p.626-634, Oct. 1994.

WEBSTER, R., BOAG, B. Geostatistical analysis of cyst nematodes in soil. **Journal of Soil Science**, London, v.43, n.3, p.583-595, Sept. 1992.

YORINORI, J. T. Epidemiologia, dinâmica de população e controle. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O NEMATÓIDE DE CISTO DA SOJA, 1, Brasília, 1993. **Anais**. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1994. P.65-76.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da ferrugem da soja com cálcio, potássio e a combinação de fungicidas e silício demonstrou ser uma alternativa válida na redução da doença. No entanto, os resultados obtidos nestes ensaios necessitam de outros estudos como quantificação dos teores de clorofila, carotenóide, lignina, enzimas peroxidases, e polifenoloxidasas e estudos sobre microscopia eletrônica de varredura para visualizar o processo de germinação dos urediniósporos na superfície de folhas de soja e microscopia de transmissão para verificar a colonização do patógeno no tecido foliar.

Em relação ao manejo do nematóide do cisto da soja (NCS), as relações entre aplicação de fertilizantes no solo, crescimento das plantas e a dinâmica populacional de *H. glycines*, não estão bem esclarecidas. Mudanças que ocorrem nos tecidos das raízes, resultantes do parasitismo de *H. glycines*, podem interferir no transporte de água e nutrientes para a parte aérea das plantas. Por outro lado, quando o crescimento das raízes de soja é estimulado, em função da adição de nutrientes em solos pobres, a população de *H. glycines* pode aumentar devido à disponibilidade de mais sítios de alimentação, pois plantas desenvolvidas oferecem em suas raízes, maior disponibilidade de locais para os nematóides se alimentarem.

A partir dos resultados obtidos nos experimentos do presente trabalho é possível afirmar que de uma maneira geral, a adubação com potássio, pode causar sensível redução da população de fêmeas e cistos de *H. glycines* de acordo com o aumento das dosagens. No entanto, no estudo das correlações, em experimento de campo, observou-se maiores níveis populacionais de cistos em locais com teores elevados deste elemento. Assim verifica-se que as relações entre injúria de *H. glycines* às raízes e crescimento das plantas não são bem

entendidas, sugerindo que as adubações na cultura da soja devem ser feitas com base na análise de solo e não na presença deste nematóide.

Outra prática de grande importância no controle do NCS é o manejo do solo por meio da calagem. Esta prática visa principalmente, obter saturação de bases compatível com a região, evitando saturação elevada na camada superficial do solo e obtenção de fertilidade equilibrada no perfil do solo. Porém, a calagem em excesso, eleva o pH do solo, favorecendo ao aumento das densidades populacionais desse nematóide.

Verificou-se por meio desse trabalho que a geoestatística foi utilizada com eficiência para estudar a distribuição espacial do NCS, analisando seu comportamento de acordo com os teores de potássio e cálcio no solo. Assim trata-se de uma metodologia extremamente útil para análise da distribuição espacial do NCS, porém não dispensa o conhecimento biológico que se deve ter a respeito desta espécie.

Assim o uso e o manejo de nutrientes, de forma equilibrada, demonstrou ser uma alternativa válida e eficiente no controle da ferrugem da soja e do NCS. Há, contudo, a necessidade de se desenvolver mais pesquisas em outras regiões, com variedades diferentes, outras raças do NCS, bem como o comportamento dessas duas doenças em diferentes níveis, fontes e combinação de nutrientes.

Principalmente, pesquisas em relação aos mecanismos da interação patógeno-hospedeiro, visando desta forma, obter informações mais consistentes que possam ser aplicadas no manejo da cultura para controle dessas doenças.

## ANEXOS

		Página
TABELA 1 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) em função de doses de cálcio e potássio em solução nutritiva, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	166
TABELA 2 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) do peso da matéria seca das raízes (MSR), peso da matéria seca do caule (MSC) e peso da matéria seca das folhas (MSF), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	166
TABELA 3 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) da taxa fotossintética potencial ( $\mu\text{mol O}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) nos tratamentos estudados, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	166
TABELA 4 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de potássio (K) e cálcio (Ca), $\text{g kg}^{-1}$ , de matéria seca de caule (MSC), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	167
TABELA 5 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de, potássio (K) e cálcio (Ca), $\text{g kg}^{-1}$ , de matéria seca de folhas (MSF), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	167
TABELA 6 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e produção ( $\text{Kg/ha}^{-1}$ ) em função da associação de fungicidas e silício, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	168
TABELA 7 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e produção ( $\text{Kg/ha}^{-1}$ ) em função do número de aplicações e doses de chlorothalonil, UFLA, Lavras, MG, 2007....	168

TABELA 8 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área foliar (AF), diâmetro de caule (DC) e comprimento da parte aérea (CPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	169
TABELA 9 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores do número de ovos por vaso (OV), número de cistos por vaso (CV), número de ovos por cisto (OC), número de fêmeas e cistos por sistema radicular (FCSR), número de ovos por fêmea (OF), e fator de reprodução (FR) em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	169
TABELA 10 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores do peso da matéria seca da raiz (MSR) e peso da matéria seca da parte aérea (MSPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	170
TABELA 11 A	Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de potássio (K) e cálcio (Ca), g kg <sup>-1</sup> , de matéria seca da parte aérea (MSPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo, UFLA, Lavras, MG, 2007.....	170
TABELA 12 A	Concentrações de macronutrientes utilizados nas soluções nutritivas das mudas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.....	171
TABELA 13 A	Concentrações de micronutrientes utilizados nas soluções nutritivas das mudas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.....	172
TABELA 14 A	Atributos químicos e físicos da proporção solo: areia (1:2) utilizado no experimento: Influência da nutrição com potássio e cálcio na reprodução do NCS. Laboratório de análise de solos. DCS/UFLA, 2006.....	173
TABELA 15 A	Concentrações de macronutrientes utilizados na proporção solo e areia (1:2), nos vasos de argila com plantas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.....	174
TABELA 16 A	Concentrações de micronutrientes utilizados na proporção solo e areia (1:2), nos vasos de argila com plantas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.....	175

TABELA 1A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), em função de doses de cálcio e potássio em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	AACPS
Bloco	3	661,77*
Doses k	4	1953,08**
Doses Ca	4	7920,91**
Dosesk*DosesCa	16	510,60**
CV (%)		23,42

\*\* Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

\* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

TABELA 2A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) do peso da matéria seca das raízes (MSR), peso da matéria seca do caule (MSC) e peso da matéria seca das folhas (MSF), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	MSR	MSC <sup>1</sup>	MSF <sup>1</sup>
Bloco	3	19,24 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
Doses k	4	19,20 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
Doses Ca	4	17,40 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
Dosesk*DosesCa	16	8,78 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
CV (%)		21,91	9,42	7,56

<sup>ns</sup> não significativo, 1= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$

TABELA 3A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) da taxa fotossintética potencial ( $\mu\text{mol O}_2, \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) nos tratamentos estudados. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	Fotossíntese potencial
Tratamento	5	72,09*
Bloco	3	16,40 <sup>ns</sup>
CV(%)		30,68

\* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

TABELA 4A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de potássio (K) e cálcio (Ca), g kg<sup>-1</sup>, de matéria seca do caule (MSC), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	K	Ca <sup>1</sup>
Bloco	3	10,878 <sup>**</sup>	0,45 <sup>**</sup>
Doses k	4	33,24 <sup>**</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Doses Ca	4	2,15 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>**</sup>
Dosesk*DosesCa	16	0,97 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
CV (%)		6,63	7,16

<sup>\*\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

<sup>1</sup>= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$

TABELA 5A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de potássio (K) e cálcio (Ca), g kg<sup>-1</sup>, de matéria seca de folhas (MSF), em função das doses de cálcio e potássio em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	K	Ca
Bloco	3	36,61 <sup>**</sup>	380,47 <sup>**</sup>
Doses k	4	6,79 <sup>**</sup>	60,77 <sup>**</sup>
Doses Ca	4	3,72 <sup>*</sup>	204,611 <sup>**</sup>
Dosesk*Doses Ca	16	2,27 <sup>ns</sup>	6,91 <sup>ns</sup>
CV (%)		24,13	24,63

<sup>\*\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

TABELA 6A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e produção (Kg/ha<sup>-1</sup>), em função da associação de fungicidas e silício. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	AACPI	AACPS	Produção(Kg/ha <sup>-1</sup> )
Tratamento	8	578948,61 <sup>**</sup>	6676,87 <sup>**</sup>	10135,90 <sup>ns</sup>
Bloco	3	171182,40 <sup>ns</sup>	969,83 <sup>*</sup>	54615,14 <sup>ns</sup>
CV (%)		10,21	31,16	25,03

<sup>\*\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

TABELA 7A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI), área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) e produção (Kg/ha<sup>-1</sup>), em função do número de aplicações e dosagens de chlorothalonil. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	AACPI	AACPS <sup>1</sup>	Produção(Kg/ha <sup>-1</sup> )
Tratamento	(13)	665996,15 <sup>**</sup>	10,17 <sup>**</sup>	165214,54 <sup>ns</sup>
Bloco	3	535383,33 <sup>ns</sup>	4,83 <sup>**</sup>	119657,01 <sup>ns</sup>
Dose	2	34402,08 <sup>ns</sup>	4,38 <sup>*</sup>	64238,68 <sup>ns</sup>
Nº aplicação	3	1058229,86 <sup>**</sup>	19,01 <sup>**</sup>	212144,63 <sup>ns</sup>
Dose*aplicaçã o	6	181538,19 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	222123,23 <sup>ns</sup>
Adicional	1	4018612,50 <sup>*</sup>	58,29 <sup>*</sup>	50138,36 <sup>ns</sup>
Fatorial*adicio nal	1	306614,60 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	100279,73 <sup>ns</sup>
CV (%)		15,77	16,71	28,65

<sup>\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

<sup>1</sup>= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$



TABELA 8A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores da área foliar (AF), diâmetro de caule (DC) e comprimento da parte aérea (CPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	AF	DC	CPA
Bloco	5	13298,97 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1211,36 <sup>**</sup>
Doses k	4	119550,16 <sup>**</sup>	8,49 <sup>**</sup>	1783,82 <sup>**</sup>
Doses Ca	4	72347,89 <sup>**</sup>	7,73 <sup>**</sup>	676,61 <sup>**</sup>
Dosesk*Doses Ca	16	37647,62 <sup>**</sup>	1,93 <sup>**</sup>	198,00 <sup>**</sup>
CV (%)		41,05	16,32	22,98

\*\* Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

TABELA 9A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores do número de ovos por vaso (OV), número de cistos por vaso (CV), número de ovos por cisto (OC), número de fêmeas e cistos por sistema radicular (FCSR), número de ovos por fêmea (OF) e fator de reprodução (FR), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	OV <sup>1</sup>	CV <sup>1</sup>	OC	FCSR <sup>1</sup>	OF <sup>1</sup>	FR <sup>1</sup>
Bloco	5	2006330,76 <sup>**</sup>	611,66 <sup>**</sup>	34466,05 <sup>**</sup>	888,00 <sup>**</sup>	43,78 <sup>*</sup>	484,78 <sup>**</sup>
Doses k	4	681700,59 <sup>**</sup>	330,04 <sup>**</sup>	15056,04 <sup>*</sup>	409,56 <sup>**</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	160,59 <sup>**</sup>
Doses Ca	4	160340,53 <sup>ns</sup>	58,60 <sup>ns</sup>	12544,15 <sup>*</sup>	104,75 <sup>ns</sup>	42,56 <sup>*</sup>	39,23 <sup>ns</sup>
Dosesk*Doses Ca	16	135453,47 <sup>ns</sup>	49,34 <sup>ns</sup>	4170,67 <sup>ns</sup>	76,47 <sup>ns</sup>	34,92 <sup>**</sup>	32,89 <sup>ns</sup>
CV (%)		75,16	92,07	101,72	87,01	44,78	72,93

\*\* Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

\* Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

<sup>1</sup>= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$

TABELA 10A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos valores do peso da matéria seca da raiz (MSR) e peso da matéria seca da parte aérea (MSPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	MSR <sup>1</sup>	MSPA <sup>1</sup>
Bloco	5	0,19 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
Doses k	4	3,59 <sup>**</sup>	8,74 <sup>**</sup>
Doses Ca	4	1,28 <sup>**</sup>	2,28 <sup>**</sup>
Dosesk*DosesCa	16	0,31 <sup>**</sup>	0,86 <sup>**</sup>
CV (%)		19,66	24,16

\*\* Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

1= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$

TABELA 11A. Resumo da análise de variância (quadrados médios) dos teores de potássio (K) e cálcio (Ca), g kg<sup>-1</sup>, de matéria seca da parte aérea (MSPA), em função das doses de cálcio e potássio adicionadas ao solo. UFLA, Lavras, MG, 2007.

FV	GL	K <sup>1</sup>	Ca <sup>1</sup>
Bloco	3	3,15 <sup>**</sup>	0,47 <sup>**</sup>
Doses k	4	11,11 <sup>**</sup>	2,09 <sup>**</sup>
Doses Ca	4	0,27 <sup>ns</sup>	1,97 <sup>**</sup>
Dosesk*DosesCa	16	0,44 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>**</sup>
CV (%)		24,55	15,46

\*\* Significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo,

1= dados transformados para  $(x + 0,5)^{1/2}$

TABELA 12A. Concentrações de macronutrientes utilizados nas soluções nutritivas das mudas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.

Potássio	Cálcio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
mmol/L <sup>-1</sup>		mL/L <sup>-1</sup>					
4	3	1	6	2	3	3	-
4	5	1	1	2	3	5	-
4	7	1	1	2	3	6	1
4	9	1	-	2	3	6	3
4	11	1	-	2	3	6	5
5	3	1	2,5	2	4	3	-
5	5	1	0,5	2	4	5	-
5	7	1	-	2	4	5,5	1,5
5	9	1	-	2	4	5,5	3,5
5	11	1	-	2	4	5,5	5,5
6	3	1	2	2	5	3	-
6	5	1	-	2	5	5	-
6	7	1	-	2	5	5	2
6	9	1	-	2	5	5	4
6	11	1	-	2	5	5	6
7	3	1	1,5	2	6	3	-
7	5	1	-	2	6	4,5	0,5
7	7	1	-	2	6	4,5	2,5
7	9	1	-	2	6	4,5	4,5
7	11	1	-	2	6	4,5	6,5
8	3	1	1	2	7	3	-
8	5	1	-	2	7	4	1
8	7	1	-	2	7	4	3
8	9	1	-	2	7	4	5
8	11	1	-	2	7	4	7

TABELA 13A. Concentrações de micronutrientes utilizados nas soluções nutritivas das mudas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.

Potássio	Cálcio	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	CuSO <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub>	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> MO <sub>4</sub> 0 <sub>24</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	ZnSO <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>7</sub>	EDTA
mmol/L <sup>-1</sup>		mg/L <sup>-1</sup>					mL/L
4	3	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
4	5	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
4	7	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
4	9	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
4	11	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
5	3	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
5	5	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
5	7	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
5	9	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
5	11	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
6	3	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
6	5	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
6	7	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
6	9	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
6	11	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
7	3	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
7	5	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
7	7	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
7	9	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
7	11	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
8	3	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
8	5	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
8	7	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
8	9	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0
8	11	2,86	0,08	3,00	0,025	0,22	1,0

TABELA 14A. Atributos químicos e físicos da proporção solo:areia (1:2) utilizada no experimento. Laboratório de análise de solos. UFPA, Lavras, MG, 2006.

<b>Atributos</b>	<b>To</b>
pH	5,1
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,0
H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,1
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,5
T (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,6
t (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,5
V (%)	32,1
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,7
K (mg dm <sup>-3</sup> )	6,0
Ca <sup>+2</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,4
Mg <sup>+2</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,1
MO (dag/kg <sup>-1</sup> )	0,1
P-rem (mg/L <sup>-1</sup> )	32,0
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	78,6
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	27,8
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,3
S (mg dm <sup>-3</sup> )	28,5
Areia (dag/Kg <sup>-1</sup> )	72
Silte (dag/Kg <sup>-1</sup> )	1,0
Argila (dag/Kg <sup>-1</sup> )	27

pH em água, kCl e CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; P e K-extrator mehlich 1; Ca, Mg e Al-extrator KCl 1N; H + Al: extrator SMP; SB=soma de bases trocáveis; CTC (t)=capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T)=capacidade de troca catiônica a Ph 7,0; V=índice de saturação por bases; Mat. Org. (MO)–Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; Fe-Zn-Mn-Cu–extrator Mehlich 1; B-extrator água quente; S-extrator–fosfato monocálcico em ácido acético;

TABELA 15A. Concentrações de macronutrientes utilizados na proporção solo e areia (1:2), nos vasos de argila com plantas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.

Potássio	Cálcio	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Uréia
mg dm <sup>-3</sup>		g/kg <sup>-1</sup>							
0	0	0,74	0,32	-	-	-	-	-	0,45
0	75	0,74	0,32	-	0,44	-	-	-	0,34
0	150	0,74	0,32	-	0,89	-	-	-	0,22
0	225	0,74	0,32	-	1,33	-	-	-	0,11
0	300	0,74	0,32	-	1,77	-	-	-	-
150	0	0,74	0,32	0,39	-	-	-	-	0,33
150	75	0,74	0,32	0,39	0,44	-	-	-	0,45
150	150	0,74	0,32	0,39	0,89	-	-	-	0,11
150	225	0,74	0,32	0,39	1,33	-	-	-	-
150	300	0,30	0,32	0,39	1,77	-	0,60	-	-
300	0	0,74	0,32	0,78	-	-	-	-	0,22
300	75	0,74	0,32	0,78	0,44	-	-	-	0,11
300	150	0,74	0,32	0,78	0,89	-	-	-	-
300	225	0,74	0,32	0,39	0,87	0,29	-	-	-
300	300	-	0,32	0,78	1,00	-	-	0,81	0,07
450	0	0,74	0,32	1,17	-	-	-	-	0,10
450	75	0,74	0,32	1,17	0,39	-	-	-	-
450	150	0,74	0,32	1,17	0,39	0,30	-	-	-
450	225	0,74	0,32	1,17	0,39	0,58	-	-	-
450	300	0,74	0,32	1,17	0,39	0,86	-	-	-
600	0	0,74	0,32	1,56	-	-	-	-	-
600	75	0,62	0,32	1,56	-	-	-	1,42	0,07
600	150	-	0,32	1,56	0,12	-	-	0,81	0,09
600	225	-	0,32	1,56	0,56	-	-	0,81	0,09
600	300	-	0,32	1,56	0,73	0,17	-	0,81	-

TABELA 16A. Concentrações de micronutrientes utilizados na proporção solo e areia (1:2), nos vasos de argila com plantas de soja para as diferentes relações de potássio e cálcio.

Potássio	Cálcio	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	CuSO <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub>	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O) <sub>7</sub>	FeSO <sub>4</sub>
mg dm <sup>-3</sup>		mg/kg <sup>-1</sup>					
0	0	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
0	75	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
0	150	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
0	225	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
0	300	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
150	0	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
150	75	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
150	150	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
150	225	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
150	300	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
300	0	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
300	75	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
300	150	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
300	225	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
300	300	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
450	0	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
450	75	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
450	150	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
450	225	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
450	300	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
600	0	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
600	75	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
600	150	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
600	225	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50
600	300	5,73	11,8	18,47	0,36	44	50