



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

GUILHERME GARCIA GASPAR

**EFEITO DA SATURAÇÃO DE CÁLCIO NO SOLO SOBRE A  
SEVERIDADE DA FERRUGEM DA SOJA**

---

Londrina  
2010

GUILHERME GARCIA GASPAR

**EFEITO DA SATURAÇÃO DE CÁLCIO NO SOLO SOBRE A  
SEVERIDADE DA FERRUGEM DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof.Dr. Hideaki Wilson Takahashi

Londrina  
2010

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da  
Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

G249e Gaspar, Guilherme Garcia.

Efeito da saturação de cálcio no solo sobre a severidade da ferrugem da soja / Guilherme Garcia Gaspar. – Londrina, 2010.  
33 f. : il.

Orientador: Hideaki Wilson Takahashi.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Solos – Nutrientes – Teses. 2. Solos – Teor de cálcio – Teses.  
3. Ferrugem da soja (Doença) – Teses. 4. Soja – Doenças e pragas – Teses. I. Takahashi, Hideaki Wilson. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 631.82:633.34

GUILHERME GARCIA GASPAR

**EFEITO DA SATURAÇÃO DE CÁLCIO NO SOLO SOBRE A  
SEVERIDADE DA FERRUGEM DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Hideaki Wilson Takahashi

---

Prof. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue

---

Prof. Dr. José Carlos Vieira de Almeida

---

Prof. Dr. Hideaki Wilson Takahashi  
Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 30 de abril de 2010.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por sempre estar me dando forças para seguir em frente.

Gostaria de agradecer também meus pais, José e Maria Helena, pelo apoio incondicional na realização do meu mestrado.

Agradeço ao professor Dr. Hideaki Wilson Takahashi pela orientação e todos os ensinamentos repassados.

Agradeço ao professor Dr. José Carlos Vieira de Almeida pelas sugestões e dicas de grande valia para confecção do trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Roberto Antunes Fioretto pelos conselhos para melhoria do trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Marcelo Giovanetti Canteri pelo auxílio no trabalho na área de fitopatologia.

Agradeço a professora Dr. Inês Cristina de Batista Fonseca pelo auxílio nas análises estatísticas.

Agradeço a LABORSOLO pela colaboração na realização das análises foliares e pela utilização do programa ChecarDRIS.

Agradeço a EMBRAPA Soja, na pessoa de Allan, pela disponibilização dos esporos de ferrugem da soja.

Agradeço a todos meus amigos e familiares pelo apoio direto ou indireto durante o desenvolvimento do meu trabalho prático de mestrado.

Agradeço a todos do Laboratório de Solos da UEL.

GASPAR, Guilherme Garcia; TAKAHASHI, Hideaki Wilson. **Efeito da Saturação de Cálcio no Solo sobre a Severidade da Ferrugem da Soja**. 2010. 34f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

## RESUMO

A deficiência ou excesso de certos nutrientes para a planta pode aumentar ou diminuir a susceptibilidade desta ao ataque de doenças. O equilíbrio entre os nutrientes fornecidos ao solo, deve ser considerado para que a planta possa absorvê-los de maneira correta e em níveis desejáveis, para seu desenvolvimento ideal. A relação entre cálcio, magnésio e potássio é um fator muito importante para o bom desenvolvimento das plantas., sendo que o excesso desses no solo, pode inibir competitivamente sua absorção pelas plantas. Doenças causadas por fungos estão ligadas a presença de exudatos nas folhas e raízes, decorrente de concentrações baixas de cálcio, potássio e magnésio na planta. Deste modo o trabalho tem como objetivo estipular a porcentagem adequada de cálcio, magnésio e potássio no solo em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), para que a planta possa absorver corretamente estes nutrientes e manter um equilíbrio nutricional adequado, tendo condições para resistir ao ataque do fungo causador da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow ) reduzindo os gastos com fungicidas.A cultivar de soja utilizada no experimento, BRS 184, foi semeada em vasos de barro contendo o solo já corrigido. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo utilizado um Latossolo Vermelho Distrófico Psamítico (LVd) e seis diferentes porcentagens de bases no solo em relação a CTC do solo (sem correção das bases; 35:15:5; 45:15:5; 55:15:5; 65:15:5; 75:15:5), com oito repetições, sendo cada vaso uma repetição. A inoculação das plantas com uredosporos de *P. pachyrhizi* foi realizado no estágio fenológico R4. A severidade da doença foi determinada através de notas visuais considerando a porcentagem de área foliar com sintomas visíveis da doença, calculando-se a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) com base nas avaliações realizadas aos 14, 18, 22, 26 e 30 dias após a inoculação. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, e foram determinados modelos de regressão para os tratamentos. Os teores de todos os nutrientes foram inseridos no programa ChecarDris(LABORSOLO), para obtenção dos índices Dris de cada nutriente,e também para calculo dos índices de matéria seca(IMS) e índice de balanço nutricional(IBN), para cada tratamento.O equilíbrio das bases no solo, nas porcentagens de 55% de cálcio, 15% de magnésio e 5% de potássio, conferiu maior equilíbrio nutricional na soja, visto que este tratamento proporcionou redução na severidade da ferrugem da soja. Abaixo de 45% de cálcio na CTC total , coloca a lavoura em alto risco de severidade da ferrugem da soja, principalmente pela falta de cálcio restringindo a absorção de boro. O método DRIS mostrou-se eficiente para estimativa da AACPD através da variação do índice de balanço nutricional(IBN).

**Palavras-chave:** Nutrição mineral. Doenças de plantas. Equilíbrio nutricional. DRIS. *Phakopsora pachyrhizi*.

GASPAR, Guilherme Garcia; TAKAHASHI, Hideaki Wilson. **Effect of the calcium saturation in the soil on the severity of soybean rust.** 2010. 34p. Dissertation (Master`s Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

## ABSTRACT

The deficiency or excess of certain nutrients in the plant might increase or decrease its susceptibility to diseases. The balance between the nutrients supplied to the soil must be considered so that the plant can absorb them correctly and in desirable levels for their optimum development. The relationship between calcium, magnesium and potassium is a very important factor for the proper development of the plants. Being that the excess of each one of them in the soil may decrease the availability of others. diseases caused by fungi are linked to the presence of exudates on the leaves and roots, due to low concentrations of potassium and magnesium in the plant. Thus this paper aims to provide an adequate percentage of calcium, magnesium and potassium in relation to the soil cation exchange capacity (CEC) for the plant can absorb these nutrients correctly and maintain an adequate nutritional balance, and conditions to resist the attack of fungus causing Soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) reducing expenditures on fungicides. The soybean cultivar used in the experiment, BRS 184, was sown in clay pots containing soil already corrected. The experimental design was a randomized block plan. using a soil type and six different percentages of the soil base (%Ca.%Mg.%K) in relation to the soil's CEC (with no correction in the bases: relations 35:15:5; 45:15:5; 55:15:5; 65:15:5; 75:15:5), with eight replications, each pot being a repetition. inoculation of plants with uredospores of *P. pachyrhiz* was conducted in the developmental stage R4. The severity of disease was determined through a visual score considering the percentage of leaf area with visible symptoms of the disease calculating the area under the disease progress curve , based on evaluations performed at 14, 18, 22, 26 and 30 days after inoculation. The data obtained was subjected to analysis of variance at 5% probability by F test, and regression models were determined for the treatments. The levels of all nutrients were entered into the program ChecARDRIS (developed by LABORSOLO) used to obtain the DRIS index of each nutrient and also for calculation of the indices of dry matter (IDM) and nutrient balance index (NBI) for each treatment. The balance of the soil base in the percentages of 55% calcium, 15% magnesium and 5% potassium has better increased the nutritional balance in soybean, seeing as this treatment reduced the severity of soybean rust . Below 45% calcium in the CEC , puts the crop at high risk of disease severity, mainly by lack of calcium restricting the absorption of boron. The DRIS method was proved efficient for prediction of the severity index by varying the nutrient balance index (NBI).

**Keywords:** Mineral nutrition. Plant diseases. Nutritional balance. DRIS. *Phakopsora pachyrhizi*.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
2.1 BASES NO SOLO.....	9
2.2 FERRUGEM DA SOJA .....	10
2.3 INTERAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E DOENÇAS DE PLANTAS.....	11
2.3.1 Cálcio .....	12
2.3.2 Magnésio.....	13
2.3.3 Potássio.....	14
<b>ARTIGO – EFEITO DAS BASES NO SOLO (Ca, Mg, K) SOBRE A SEVERIDADE DA FERRUGEM DA SOJA</b> .....	16
RESUMO .....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUÇÃO .....	18
MATERIAL E MÉTODOS .....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
CONCLUSÃO.....	29
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

Para se obter uma planta equilibrada nutricionalmente e sadia o fornecimento de nutrientes em níveis adequados se faz necessário. Alguns nutrientes fornecidos em excesso no solo inibem a absorção dos demais causando um desequilíbrio nutricional na planta, deixando-a mais vulnerável ao ataque de pragas e doenças, causando decréscimos na produtividade.

O equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio é um fator muito importante para o bom desenvolvimento das plantas. Esses cátions básicos competem pelas cargas negativas presentes no solo e na matéria orgânica, sendo que o excesso de um pode comprometer a disponibilidade e absorção de outro.

O problema aumenta quando o uso de corretivos com proporções inadequadas entre Ca e Mg, é utilizado de maneira indiscriminada. Concentrações de magnésio equivalente ou superiores às de cálcio, no solo, comprometem o equilíbrio das bases no solo e a produtividade da lavoura.

O fornecimento desbalanceado destas bases ao solo pode causar um desequilíbrio nutricional na planta, fazendo com que esta não resista tão vigorosamente ao ataque de parasitas como é o caso de fungos e bactérias.

Uma doença que vem provocando sérios prejuízos aos produtores é a ferrugem da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow. O controle químico, com fungicidas, tem sido a melhor alternativa que o produtor tem para escapar deste problema e nem sempre três aplicações somente conseguem conter o avanço desta doença. Desta maneira, esta doença além da redução na produtividade também tem aumentado o custo de produção da soja.

Desta maneira o controle de uma praga ou doença através da correta nutrição da planta deve ser estudado para tentar diminuir práticas tão custosas econômica e ambientalmente, como é o caso da aplicação de defensivos agrícolas.

Como cálcio, magnésio e potássio são nutrientes muito importantes para as plantas, a correta porcentagem destes elementos no solo facilitaria sua absorção em níveis adequados para as plantas.

Sendo o cálcio o principal componente que confere estruturação da parede celular vegetal, atuando como mensageiro secundário em resposta ao ataque de doenças e inibindo fortemente as enzimas pectolíticas liberadas pelos

fungos para penetrar na planta, então o aumento de níveis de cálcio no solo disponíveis para as plantas, poderá aumentar a espessura da parede celular da epiderme da folha e diminuir a infestação pelos fungos .

O trabalho tem como objetivo estipular uma porcentagem adequada de cálcio, magnésio e potássio no solo em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), para que a planta possa absorver corretamente estes nutrientes e manter um equilíbrio nutricional adequado, tendo condições para resistir ao ataque do fungo causador da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow ) reduzindo os gastos com fungicidas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BASES NO SOLO

As plantas absorvem os nutrientes, na forma de íons, da solução do solo. Porém é na fase sólida, onde estes íons (nutrientes) se encontram armazenados (adsorvidos). Estes são repostos para a solução quando sua concentração é diminuída (absorção pelas plantas ou alguma perda), mantendo sempre o equilíbrio entre solução e fase sólida (NOVAIS; MELLO, 2007).

Os mecanismos que liberam ou imobilizam os íons podem ser considerados como um reservatório iônico, dos quais podemos citar; capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de troca aniônica (CTA), absorção por microorganismos, capacidade de quelação ou complexação, capacidade de solubilização-insolubilização, formação de par iônico, entre outras formas (MCLEAN, 1984).

Estes cátions devem estar distribuídos de maneira equilibrada no solo para que um nutriente em excesso, por exemplo, não ocupe o lugar de outro na CTC do solo afetando assim a disponibilidade deste na solução do solo e por fim afetando sua absorção em níveis adequados pelas plantas (KURIHARA et al., 1993).

Segundo Moore et al. (1961), citado por Gomes et al. (2002), o Ca e o Mg na solução do solo são antagônicos, ou seja, o excesso de um prejudica a absorção do outro. Oliveira et al. (2001) verificaram também a importância da relação de Ca e Mg em razão da quantidade de K aplicado ao solo, a qual deve estar entre 20 e 30, para evitar que o potássio não interfira de maneira negativa na absorção dos outros dois.

Bear e Toth (*apud* OLIVEIRA et al., 2001), McLean (1984) e Albrecht (2005) chegaram a conclusão de que para se obter um balanço ideal de cátions no complexo de troca, este deve estar ocupado por 50 a 65% de Ca, 15 a 20% de Mg e 3 a 5% de K, em relação a CTC à pH 7.

Em trabalho desenvolvido por Watanabe et al. (2005), encontrou-se que o correto equilíbrio de bases no solo ofereceu melhor distribuição destas no perfil do solo e maior rendimento a cultura da soja.

Segundo Fageria (2001) o nível adequado de saturação por Ca, na CTC do solo, seria de 24% para o arroz, 37% para o feijão, 43% para o milho e de 51% para a soja. Para Mg o mesmo autor afirma que a saturação adequada para o arroz, feijão, milho e soja é de 15, 16, 18 e 18%, respectivamente, já a saturação adequada de K para essas culturas foi de 2,6%.

Desse modo um correto fornecimento dos cátions básicos (Ca, Mg e K) ao solo, com uma porcentagem adequada em relação à CTC do solo, permitirá a planta uma melhor absorção destes nutrientes em níveis adequados para seu equilíbrio nutricional.

## 2.2 FERRUGEM DA SOJA

Na safra 2001/2002 uma nova doença, a ferrugem asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, foi detectada em praticamente todas as regiões produtoras representando uma ameaça para a cultura em função dos prejuízos causados e do aumento de custo de produção para seu controle (TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA, 2006).

A doença é favorecida por longos períodos de molhamento. Em condições ótimas para a doença, as perdas na produtividade podem variar de 10% a 80%. (EMBRAPA SOJA, 2007).

De acordo com o Consórcio Antiferrugem (2008), a safra 2007/08 registrou 2101 focos de ferrugem. O Paraná foi disparado o estado com maior número de registros (1038), seguido pelo Mato Grosso do Sul (538) e por Goiás (238). Na safra 2006/2007, o Consórcio Antiferrugem contabilizou 2778 focos, sendo a Bahia (747), o Paraná (662) e o Mato Grosso do Sul (613) os estados com maior número de ocorrências.

Na safra 2009/2010, até o momento foram detectados 22 focos da doença, sendo 4 em lavouras comerciais (Aral Moreira-MS, Rio Verde-GO e Cascavel-PR) e 18 relacionados à soja voluntária ou irrigada (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2009).

O fungo se dissemina pelo vento e a doença não é transmitida por semente. O fungo causador da ferrugem é parasita obrigatório ou biotrófico porque

vive apenas em hospedeiros vivos. Portanto, para sobreviver, depende de hospedeiros alternativos ou da própria soja, através das plantas voluntárias, guaxas ou tigüeras, que nascem a partir de grãos perdidos na colheita, ou nos cultivos sob irrigação (EMBRAPA SOJA, 2008).

Caso as condições estejam favoráveis, temperaturas entre 18 °C e 26 °C, molhamento foliar de pelo menos seis horas (o ideal é de 12 a 14 horas), os esporos germinam e o fungo penetra na folha diretamente rompendo a epiderme e colonizando seus tecidos (diferente da maioria dos fungos causadores de ferrugem, que só penetram por estômatos) (MAGNANI; ALVES; ARAÚJO, 2007). Em condições ótimas de temperatura, ao redor de cinco dias após a penetração, é possível visualizar os primeiros sintomas, que são os pontos escurecidos vistos mais facilmente olhando a folha contra um fundo claro (EMBRAPA SOJA, 2008).

### 2.3 INTERAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E DOENÇAS DE PLANTAS

Doenças de plantas são muito influenciadas por fatores ambientais, incluindo deficiências e/ou toxicidade de nutrientes essenciais. A nutrição balanceada tem um papel importante na determinação da resistência ou suscetibilidade das plantas às doenças (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1990). O equilíbrio entre os vários nutrientes no solo, muito mais do que cada um deles isoladamente, pode determinar o balanceamento ótimo para a menor incidência das doenças (ITO et al., 1994).

Elementos minerais estão diretamente envolvidos em todos os mecanismos de defesa das plantas como componentes integrais de células, substratos, enzimas, carregadores de elétrons, ativadores-inibidores, e reguladores de metabolismo (HUBER *apud* FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1990).

O aumento da resistência das plantas à pragas e doenças pode ser alcançado por modificações na anatomia da planta (ex: engrossamento da epiderme das células e um aumento no grau de lignificação e/ou silificação), e em propriedades bioquímicas e fisiológicas (ex: alta produção de inibidores ou substâncias repelentes) (MARSCHNER, 1986).

Segundo Pozza e Pozza (2003, apud BALARDIN et al., 2006), a redução do nível do inóculo por meio da utilização de cultivares com resistência parcial associada a uma nutrição mineral equilibrada pode possibilitar um controle mais eficiente das doenças.

De acordo com Csinos et al. (1984) e Csinos e Gaines (1986), apud FENILLE et al., 2000), as podridões de vagens em amendoim podem ser consideradas primeiramente como doenças nutricionais, pela deficiência de cálcio ou desbalanço entre cálcio e outros cátions, especialmente, potássio e magnésio, e os patógenos como sendo a causa secundária.

### 2.3.1 Cálcio

Quantitativamente o cálcio é o nutriente mais proeminente no apoplasto, o espaço da parede celular onde ele tem pelo menos duas funções distintas: interligar cadeias pécticas, como o Boro, fornecendo sua estabilidade; e afetar as propriedades mecânicas do gel péctico (WHITE; BROADLEY, 2003; MA; BERKOWITZ, 2007). Também é essencial para a integridade da membrana plasmática das células vegetais, especificamente para a seletividade do transporte de íons que elas realizam (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O cálcio no tecido das plantas afeta a incidência de doenças parasíticas pois é essencial para a estabilidade das biomembranas; quando o nível de cálcio é baixo o efluxo de compostos de baixo peso molecular (açúcares por exemplo) do citoplasma para o apoplasto é aumentado (SANTOS et al, 2008). Muitos fungos parasíticos e bactérias invadem o tecido das plantas pela produção extracelular de enzimas pectolíticas como a poligalacturonase, a qual dissolve a lamela média, a atividade desta enzima é drasticamente inibida pelo cálcio (MARSCHNER, 1986).

Muitas rotas de defesa contra patógenos são induzidas pelo processo de infecção. Os fragmentos de moléculas dos patógenos, denominados eliciadores, iniciam uma complexa via de sinalização, que leva à ativação das respostas de defesa e o cálcio é o nutriente que atua como mensageiro secundário das plantas em resposta a estes sinais (TAIZ; ZEIGER, 2004). O cálcio se liga à calmodulina

(uma proteína encontrada no citosol de células vegetais) formando o complexo calmodulina-cálcio que regula muitos processos metabólicos de defesa da planta, tais como síntese de calose e morte programada da célula (WHITE; BROADLEY, 2003; MA; BERKOWITZ, 2007).

Segundo Rahman e Punja (2007), o cálcio, diferentemente do nitrogênio, seja talvez o nutriente mais importante no manejo de doenças das plantas, onde níveis adequados deste nutriente no solo e na planta podem reduzir a incidência e severidade de várias doenças de importância econômica.

Santos et al. (2008), chegaram a conclusão que menores concentrações de K e maiores de Ca nas folhas do cafeeiro, durante a fase de granação, conferem maior equilíbrio nutricional as plantas aumentando a resistência a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) e a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Ainda segundo os mesmos autores, o K normalmente é conhecido por diminuir a incidência de doenças nas plantas, porém o seu excesso diminui a absorção de Ca em decorrência da competição pelos mesmos sítios ativos de absorção, ocasionando desequilíbrio do nutriente nas folhas.

De acordo com Debona et al. (2008), o incremento nas doses de cálcio no solo de 49,5 a 247,5 kg.ha<sup>-1</sup> na soja resultou em diminuição da severidade da ferrugem da soja em torno de 7%.

### 2.3.2 Magnésio

O papel principal desse elemento é de atuar como co-fator de quase todas as enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou ADP (tri e difosfato de adenosina) e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração (glicólise e ciclo dos ácidos tricarboxílicos), reações de síntese de ácidos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico executado pela planta (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

Além do metabolismo energético o magnésio tem importante papel no processo fotossintético por fazer parte da molécula de clorofila, modular a

atividade das carboxilases, como a rubisco, (RICE, 2007), e ser responsável pela formação do DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Altas concentrações de magnésio podem diminuir a absorção de cálcio, potássio e manganês (síntese de lignina) reduzindo o crescimento da planta (JONES; HUBER, 2007). Em plantas de amendoim pode reduzir a concentração de cálcio nas vagens predispondo as vagens ao ataque de *Rhizoctonia* e *Pythium* (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1990).

O excesso de magnésio também pode aumentar a incidência de doenças causadas principalmente por bactérias, tais como *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* que causa desfolha no pimentão e no tomate (JONES; HUBER, 2007).

### 2.3.3 Potássio

O potássio desempenha um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais e na ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). Embora seja o mais abundante mineral catiônico constituinte das plantas e possa constituir até 10% do peso seco de uma planta, não é um constituinte integral de qualquer metabólito que pode ser isolado de material vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

O potássio tem muitas funções importantes na planta: favorece o crescimento radicular e absorção de água e nutrientes; reduz a respiração para prevenir gastos de energia; auxilia no transporte de açúcares e aminoácidos; mantêm o turgor das células reduzindo perdas de água; retarda o avanço de doenças nas plantas e síntese de proteínas (ISHIZUKA apud PRABHU et al., 2007).

A germinação de esporos de fungos na superfície das folhas e das raízes é muito estimulada pela presença de exudatos das plantas. A falta de potássio, por exemplo, pode aumentar a quantidade de açúcares e aminoácidos (exudatos) na folha (MARSCHNER, 1986).

O incremento de potássio na planta diminui a severidade de muitas doenças de plantas, incluindo tanto as doenças causadas por patógenos biotróficos quanto necrotróficos (WALTERS; BINGHAM, 2007).

Balardin et al. (2006) observaram que a severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) diminuiu quando houve uma adubação equilibrada entre P e K associada a uma resistência parcial das cultivares a esse fungo.

A podridão do talo em milho causada por *Diplodia maydis*, *Gibberella zae*, *Fusarium Verticilium*, *Colletotrichum graminicola* e *Pythium sp.* são exemplos clássicos de doenças reduzidas pela aplicação de K (PRABHU et al., 2007).

Em trabalho desenvolvido por Ito et. al (1994), foi observada a diminuição da seca da haste e da vagem da soja, causada por *Phomopsis spp.*, a partir do aumento das doses de K no solo, sendo que as menores incidências foram verificadas nas doses aplicadas de 300 a 450 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

O aumento das doses de potássio até a quantidade de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O proporcionou diminuição da incidência de *Cercospora Kikuchi*, e maior produtividade na cultura da soja, cultivar IAC 9 (ITO et al., 1993).

## ARTIGO: EFEITO DA SATURAÇÃO DE CÁLCIO NO SOLO SOBRE A SEVERIDADE DA FERRUGEM DA SOJA

### RESUMO

A deficiência ou excesso de certos nutrientes para a planta pode aumentar ou diminuir a susceptibilidade desta ao ataque de doenças. O equilíbrio entre os nutrientes fornecidos ao solo, deve ser considerado para que a planta possa absorvê-los de maneira correta e em níveis desejáveis, para seu desenvolvimento ideal. A relação entre cálcio, magnésio e potássio é um fator muito importante para o bom desenvolvimento das plantas., sendo que o excesso desses no solo, pode inibir competitivamente sua absorção pelas plantas. Doenças causadas por fungos estão ligadas a presença de exudatos nas folhas e raízes, decorrente de concentrações baixas de cálcio, potássio e magnésio na planta. Deste modo o trabalho tem como objetivo estipular a porcentagem adequada de cálcio, magnésio e potássio no solo em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), para que a planta possa absorver corretamente estes nutrientes e manter um equilíbrio nutricional adequado, tendo condições para resistir ao ataque do fungo causador da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow ) reduzindo os gastos com fungicidas. A cultivar de soja utilizada no experimento, BRS 184, foi semeada em vasos de barro contendo o solo já corrigido. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo utilizado um Latossolo Vermelho Distrófico Psamítico (LVd) e seis diferentes porcentagens de bases no solo em relação a CTC do solo (sem correção das bases; 35:15:5; 45:15:5; 55:15:5; 65:15:5; 75:15:5), com oito repetições, sendo cada vaso uma repetição. A inoculação das plantas com uredosporos de *P. pachyrhizi* foi realizado no estágio fenológico R4. A severidade da doença foi determinada através de notas visuais considerando a porcentagem de área foliar com sintomas visíveis da doença, calculando-se a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) com base nas avaliações realizadas aos 14, 18, 22, 26 e 30 dias após a inoculação. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, e foram determinados modelos de regressão para os tratamentos. Os teores de todos os nutrientes foram inseridos no programa ChecarDris(LABORSOLO), para obtenção dos índices Dris de cada nutriente, e também para cálculo dos índices de matéria seca(IMS) e índice de balanço nutricional(IBN), para cada tratamento. O equilíbrio das bases no solo, nas porcentagens de 55% de cálcio, 15% de magnésio e 5% de potássio, conferiu maior equilíbrio nutricional na soja proporcionando redução na severidade da ferrugem da soja. Abaixo de 45% de cálcio na CTC total , coloca a lavoura em alto risco de severidade da ferrugem da soja, principalmente pela falta de cálcio restringindo a absorção de boro. O método DRIS mostrou-se eficiente para estimativa da AACPD através da variação do índice de balanço nutricional(IBN).

**Palavras-chave:** Nutrição Mineral. Doenças de Plantas. Equilíbrio Nutricional. DRIS. *Phakopsora pachyrhizi*.

## EFFECT OF THE CALCIUM SATURATION IN THE SOIL ON THE SEVERITY OF SOYBEAN RUST.

### ABSTRACT:

The deficiency or excess of certain nutrients in the plant might increase or decrease its susceptibility to diseases. The balance between the nutrients supplied to the soil must be considered so that the plant can absorb them correctly and in desirable levels for their optimum development. The relationship between calcium, magnesium and potassium is a very important factor for the proper development of the plants. Being that the excess of each one of them in the soil may decrease the availability of others. diseases caused by fungi are linked to the presence of exudates on the leaves and roots, due to low concentrations of potassium and magnesium in the plant. Thus this paper aims to provide an adequate percentage of calcium, magnesium and potassium in relation to the soil cation exchange capacity (CEC) for the plant can absorb these nutrients correctly and maintain an adequate nutritional balance, and conditions to resist the attack of fungus causing Soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) reducing expenditures on fungicides. The soybean cultivar used in the experiment, BRS 184, was sown in clay pots containing soil already corrected. The experimental design was a randomized block plan. using a soil type and six different percentages of the soil base (%Ca.%Mg.%K) in relation to the soil's CEC (with no correction in the bases: relations 35:15:5; 45:15:5; 55:15:5; 65:15:5; 75:15:5), with eight replications, each pot being a repetition. inoculation of plants with uredospores of *P. pachyrhiz* was conducted in the developmental stage R4. The severity of disease was determined through a visual score considering the percentage of leaf area with visible symptoms of the disease calculating the area under the disease progress curve , based on evaluations performed at 14, 18, 22, 26 and 30 days after inoculation. The data obtained was subjected to analysis of variance at 5% probability by F test, and regression models were determined for the treatments. The levels of all nutrients were entered into the program ChecarDRIS (developed by LABORSOLO) used to obtain the DRIS index of each nutrient and also for calculation of the indices of dry matter (IDM) and nutrient balance index (NBI) for each treatment. The balance of the soil base in the percentages of 55% calcium, 15% magnesium and 5% potassium has better increased the nutritional balance in soybean, seeing as this treatment reduced the severity of soybean rust . Below 45% calcium in the CEC , puts the crop at high risk of disease severity, mainly by lack of calcium restricting the absorption of boron. The DRIS method was proved efficient for prediction of the severity index by varying the nutrient balance index (NBI).

**Key words:** Mineral Nutrition. Plant Diseases. Nutritional Balance. DRIS. *Phakopsora pachyrhizi*.

## INTRODUÇÃO

Para se obter uma planta equilibrada nutricionalmente e sadia o fornecimento de nutrientes em níveis adequados se faz necessário. O equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio é um fator muito importante para o bom desenvolvimento das plantas. Estes cátions devem estar distribuídos de maneira equilibrada no solo para que um nutriente em excesso, por exemplo, não ocupe o lugar de outro na CTC do solo afetando assim a disponibilidade deste na solução do solo e por fim afetando sua absorção em níveis adequados pelas plantas (KURIHARA et al., 1993).

Alguns autores chegaram à conclusão de que para se obter um balanço ideal de cátions no complexo de troca, este deve estar ocupado por 50 a 65% de Ca, 15 a 20% de Mg e 3 a 5% de K, em relação a CTC (pH 7) (BEAR; TOTH *apud* OLIVEIRA et al., 2001; MCLEAN, 1984; ALBRECHT, 2005).

Doenças de plantas são muito influenciadas por fatores ambientais, incluindo deficiências e/ou toxicidade de nutrientes essenciais. A nutrição balanceada tem um papel importante na determinação da resistência ou suscetibilidade das plantas às doenças (FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1990). O equilíbrio entre os vários nutrientes no solo, muito mais do que cada um deles isoladamente, pode causar redução na incidência das doenças (ITO et al., 1994).

Os elementos minerais estão diretamente envolvidos em todos os mecanismos de defesa das plantas como componentes das estruturas celulares e processos metabólicos (HUBER *apud* FAGERIA; BALIGAR; JONES, 1990).

O aumento da resistência das plantas à pragas e doenças pode ser alcançado por modificações na anatomia da planta (ex: espessamento das paredes celulares e pelo aumento no grau de lignificação e/ou silificação), e bem como alterações bioquímicas e fisiológicas do metabolismo (ex: alta produção de inibidores ou substâncias repelentes) (MARSCHNER, 1986).

O cálcio no tecido das plantas afeta a incidência de doenças parasíticas pois é essencial para a estabilidade das biomembranas; quando o nível de cálcio é reduzido, o efluxo de compostos de baixo peso molecular (açúcares e aminoácidos) do citoplasma para o apoplasma é aumentado; e poligalacturonatos de cálcio são requeridos na lamela média para estabilidade das paredes celulares (SANTOS et al, 2008). Muitos fungos parasíticos e bactérias invadem o tecido das

plantas pela produção extracelular de enzimas pectolíticas como as pectidases e poligalacturonases, as quais dissolvem a lamela média, a atividade destas enzimas é drasticamente inibida pelo cálcio (MARSCHNER, 1986).

Muitas rotas de defesa contra patógenos são induzidas pelo processo de infecção. Os fragmentos de moléculas dos patógenos, denominados eliciadores, iniciam uma complexa via de sinalização, que leva à ativação das respostas de defesa e o cálcio é o nutriente que atua como mensageiro secundário das plantas em resposta a estes sinais (TAIZ; ZEIGER, 2004). O cálcio se liga à calmodulina formando o complexo que regula muitos processos metabólicos de defesa da planta, tais como a síntese de calose e a morte programada da célula (WHITE; BROADLEY, 2003; MA; BERKOWITZ, 2007).

Segundo Rahman e Punja (2007), o cálcio, diferentemente do nitrogênio, seja talvez o nutriente mais importante no manejo de doenças das plantas, onde níveis adequados deste nutriente no solo e na planta podem reduzir a incidência e severidade de várias doenças de importância econômica.

Atualmente a Ferrugem da Soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) vem causando sérios prejuízos aos produtores. O controle químico, com fungicidas, tem sido a melhor saída para o produtor escapar de seus efeitos, devendo ser realizadas várias aplicações para conter seu avanço. Toda essa operação torna esta doença uma das mais preocupantes para o produtor e a que mais tem aumentado os custos de produção da cultura.

O trabalho tem como objetivo estipular uma porcentagem adequada de cálcio, magnésio e potássio no solo em relação a capacidade de troca catiônica (CTC), para que a planta possa absorver corretamente estes nutrientes e manter um equilíbrio nutricional adequado, tendo condições para resistir ao ataque do fungo causador da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow ) reduzindo os gastos com fungicidas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Estadual de Londrina no ano agrícola de 2008/2009, em vasos de barro com capacidade para 5 Kg. Foi utilizado um Latossolo Vermelho Distrófico Psamítico (LVd) coletado em profundidade de 20-40cm na região de Faxinal.

**Tabela1** – Características químicas e granulométricas do solo utilizado em estudo.

<b>Elementos</b>	<b>Teor</b>	<b>% das Bases na CTC</b>
<i>Química</i> <sup>1</sup>		
pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	5.32	
Ca(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.15	3.82
Mg(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.26	6.62
K(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.09	2.41
Saturação por bases(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.50	12.85
Al(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.53	53.90*
H+Al(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	3.42	
H(cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2.83	72.12
CTC(pH 7) (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	3.93	
CTC (efetiva) (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1.09	
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	1.93	
<i>Granulometria</i>		
Areia (%)	81.5	
Silte (%)	7.10	
Argila (%)	11.5	

\*(% na CTC efetiva), <sup>1</sup> Pavan et al. (1992).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo utilizado 1 tipo de solo e 6 diferentes porcentagens de bases no solo (%Ca:%Mg:%K) em relação a CTC do solo (sem correção das bases; 35:15:4; 45:15:5; 55:15:5; 65:15:5; 75:15:5), com oito repetições, sendo cada vaso uma repetição.

A quantidade de solo destinada para cada vaso (5kg) foi acondicionada primeiramente em sacos plásticos. Foram determinadas as

quantidades de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  (p.a.) e KCl (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), para cada repetição, de acordo com cada tratamento, as quais foram adicionadas ao solo presente nos sacos plásticos. As amostras de solo foram homogeneizadas manualmente e umedecidas com água destilada, suficiente para atingir 80% da capacidade de campo. As amostras ficaram incubadas por um período de 30 dias para que houvessem as reações químicas entre a fase sólida do solo e os produtos aplicados.

Na ocasião da semeadura os vasos foram preenchidos com os solos já corrigidos. Foram semeadas oito sementes de soja (BRS 184), por vaso, efetuando-se posteriormente, o desbaste, deixando-se 4 plantas por vaso.

As inoculações das plantas com uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi* foram realizadas no estágio reprodutivo (R4). As inoculações foram realizadas no período noturno, precedidas de um período de molhamento de 1 hora, até atingir 80% de umidade relativa do ar e temperaturas entre 18 e 26°C.

A deposição dos esporos na folha foi obtida com uma bomba manual, sendo a pulverização realizada até completo molhamento foliar, sem que houvesse escorrimento. A solução com os esporos foi composta por água, espalhante adesivo (Tween 80) e uredosporos de *P. pachyrhizi* na concentração de 50000 esporos.ml<sup>-1</sup>. Após inoculação os vasos foram cobertos por um saco plástico, formando uma câmara úmida para as plantas, objetivando-se fornecer condições favoráveis para a penetração dos esporos na folha de soja.

A severidade da doença foi determinada através de notas visuais considerando a porcentagem de área foliar com sintomas visíveis da doença (GODOY; KOGA; CANTERI, 2006), calculando-se a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) com base nas avaliações realizadas aos 14, 18, 22, 26 e 30 dias após a inoculação. As avaliações foram realizadas em todos os trifólios emergidos do caule principal, das 4 plantas presentes em cada vaso.

Foram coletados o terceiro e quarto trifólio (iniciando-se a contagem pelo ápice da planta) de uma planta de soja por repetição, no período de florescimento. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar, durante 48hs a 60°C (SILVA, 1999), pesado e moído. Nas amostras foram determinados os teores de macro e micronutrientes conforme método descrito por Silva(1999).

O solo ao final do experimento foi coletado e analisado quimicamente (PAVAN et al., 1992) para quantificar as bases no solo. A produção da soja foi

determinada para cada tratamento, obtendo-se o valor em gramas por planta (g/planta).

Os teores de todos os nutrientes foram inseridos no programa ChecarDRIS (desenvolvido pela LABORSOLO), para obtenção dos índices DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) de cada nutriente, e também para cálculo dos índices de matéria seca (IMS) e índice de balanço nutricional (IBN), para cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, e foram determinados modelos de regressão para os tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As porcentagens de cálcio esperada na CTC (PCEC), aplicadas ao solo, influenciaram significativamente a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) com tendência de diminuição desse parâmetro a medida que houve aumento da participação do Ca em relação a outras bases (Tabela 2). A AACPD teve seu menor valor quando a PCEC foi de 55%, o magnésio de 15% e o potássio de 5% (55:15:5). Com relação à testemunha, o melhor tratamento (55:15:5) apresentou um nível de controle da doença em 58%. De acordo com Bear & Toth (*apud* OLIVEIRA et al., 2001), McLean (1984) e Albrecht (2005), para uma planta estar bem equilibrada nutricionalmente e sadia ela deve ser cultivada em um solo ou substrato bem equilibrado, cujo complexo de troca de cátions deve estar preenchido com 50 a 65% de cálcio, 15 a 20% de magnésio e 3 a 5% de potássio, proporções que neste estudo apresentaram a menor severidade da doença.

**Tabela 2** – Médias para área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), produção (g/vaso) e severidade (%) em relação às porcentagens de cálcio esperada na CTC do solo.

Tratamento	AACPD	Produção (g/vaso)	Severidade (%)
3	95.32 b	3.77 c	15.14 b
35	82.44 ab	15.48 ab	11.10 ab
45	49.83 ab	14.91 ab	9.71 ab
55	39.91 a	17.45 a	4.02 a
65	61.37 ab	12.24 b	9.69 ab
75	61.71 ab	11.57 b	8.93 ab

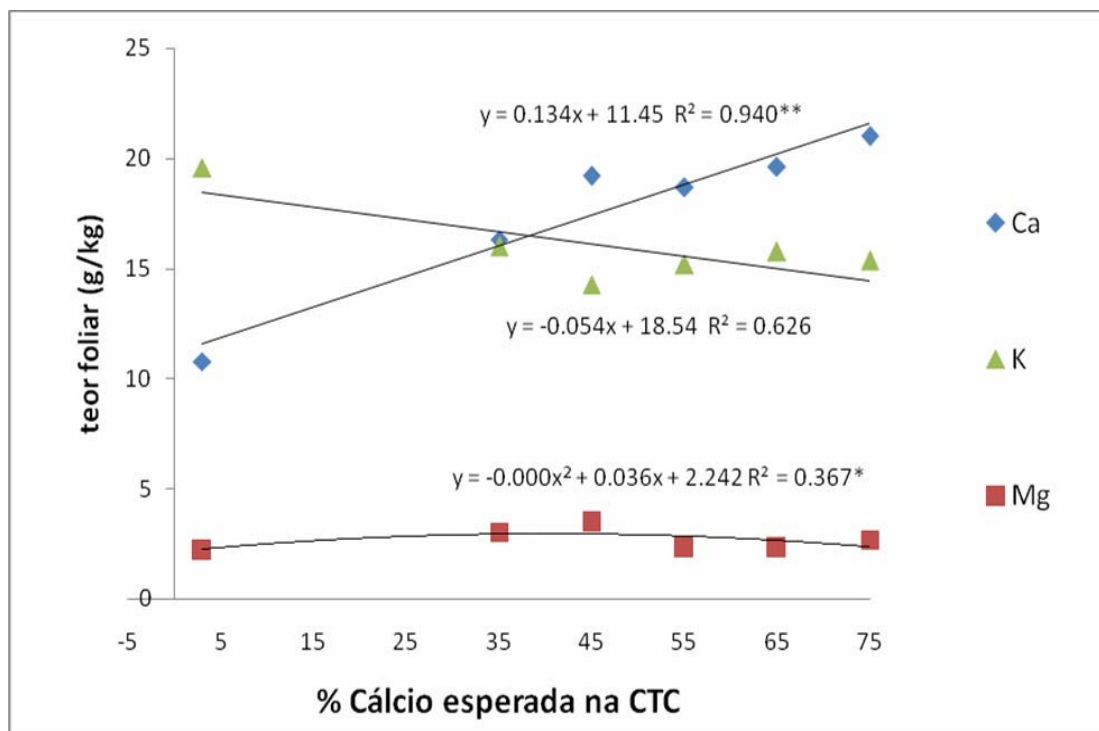
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção em gramas por planta foi influenciada pelas PCECs ao solo (Tabela 2). A maior produção foi verificada no tratamento com 55% de cálcio, 15% de magnésio e 5% de potássio, tratamento este onde foi verificada o menor progresso da severidade da ferrugem da soja. Desta forma, isto está de acordo com o preconizado por Watanabe et al.(2005) e Carneiro et al.(2006) os quais afirmaram que um solo onde o equilíbrio das bases é atendido, tem-se plantas mais resistentes a invasão de doenças e mais produtiva.

O tratamento (55:15:5) além de conferir menor progresso da severidade da ferrugem da soja, também proporcionou menor severidade da doença na última leitura de ferrugem realizada no experimento (Tabela 2). Em relação a testemunha houve diminuição de aproximadamente 12 pontos percentuais na severidade e um nível de controle da doença de 68%, ou seja, com um correto equilíbrio de bases no solo, pode-se obter plantas equilibradas nutricionalmente, podendo diminuir a pressão da doença na lavoura, bem como até diminuir o número de aplicações de fungicida, diminuindo os custos de produção.

Estes resultados mostraram comportamento semelhante aos relatados por Debona et al.(2008), que verificaram que o aumento nas doses de cálcio no solo contribuiu para diminuição da severidade da ferrugem da soja em 7 pontos percentuais.

O aumento de PCEC no solo proporcionou elevação linear nos teores de cálcio foliar (Figura 1) com ótimo ajuste ( $R^2=0,94^{**}$ ), dados estes que concordam com os obtidos por Fenille et al. (2000). Por outro lado os teores de potássio foliar apresentaram leve diminuição quando se aumentou os teores de cálcio no solo, situação esta similar aos resultados obtidos por Kurihara et al. (1993). Com o aumento nas porcentagens de cálcio no solo, o conteúdo de magnésio foliar variou muito pouco nas diversas proporções catiônicas estudadas.

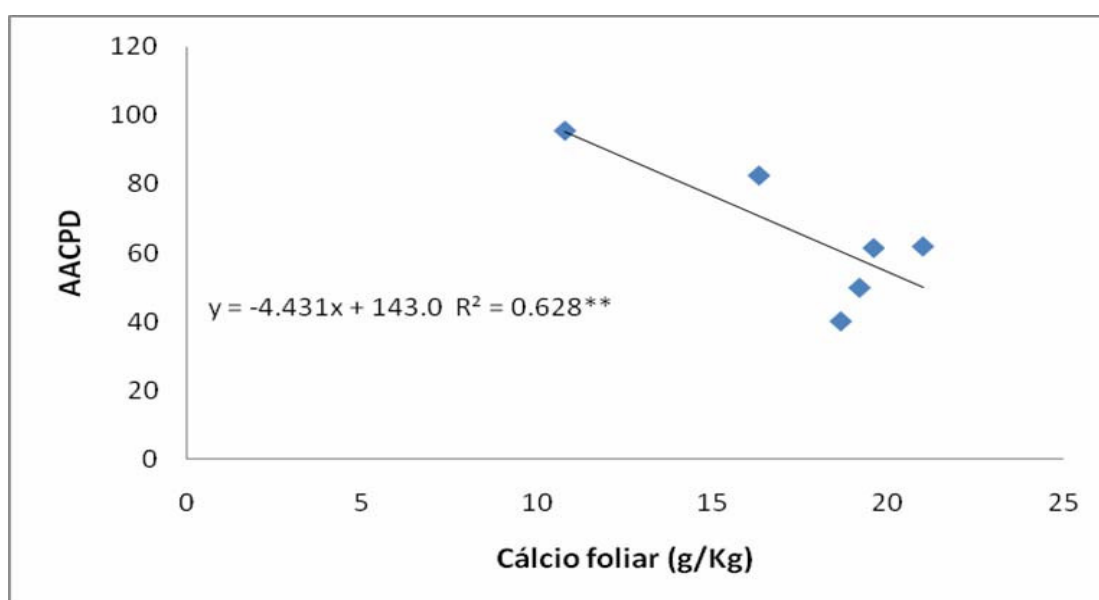


**Figura 1** – Teor de cálcio, magnésio e potássio, em folhas índices de soja, coletadas na época do florescimento, em função da porcentagem de cálcio, na CTC, aplicada ao solo. \*, \*\* significativo a 5 e 1% respectivamente, pelo teste F.

A AACPD diminuiu quando se observou o aumento dos teores de cálcio foliar da soja (Figura 2). O fato de o cálcio proporcionar uma parede celular mais desenvolvida, mais espessa, e conferir melhor estruturação da membrana celular (SANTOS et al., 2008; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MARSCHNER, 1986), pode ter contribuído para que os esporos da ferrugem da soja tivessem dificuldades em penetrar para o interior das células. Além disso, o cálcio atua como mensageiro secundário, contribuindo para qualquer tipo de resposta das plantas ao ataque de doenças (TAIZ; ZEIGER, 2004). Muitos fungos parasíticos e bactérias invadem o tecido das plantas pela produção extracelular de enzimas pectolíticas como a poligalacturonase, a qual dissolve a lamela média sendo a atividade desta enzima drasticamente inibida pelo cálcio (MARSCHNER, 1986).

Santos et al.(2008) trabalhando com cafeeiro, concluíram que menores concentrações de potássio e maiores de cálcio nas folhas, durante a fase de granação, conferem maior equilíbrio nutricional aos cafeeiros, aumentando a resistência à cercosporiose e à ferrugem e reduzindo a desfolha e o efeito de bienalidade na produção.

Garcia Júnior et al.(2003) verificaram que o aumento de cálcio na solução nutritiva proporcionou diminuição linear na área abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) de *Cercospora coffeicola* em cafeeiro. Porém, ainda segundo os mesmos autores, o aumento de cálcio só será benéfico à redução de doenças se as quantidades de potássio na solução forem respeitadas. Neste mesmo trabalho, doses excessivas de potássio proporcionaram aumento na AACPI de *Cercospora coffeicola*, devido ao fato do potássio competir com o cálcio pelos sítios de absorção. Desta forma, verifica-se a importância de se fornecer os nutrientes às plantas de forma equilibrada, para que um não atrapalhe a absorção do outro, devendo este equilíbrio ser atendido no solo ou na solução nutritiva.



**Figura 2** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da severidade da ferrugem da soja em função dos teores de cálcio na folha índice de soja, coletadas na época do florescimento. \*\* significativo a 1% pelo teste F.

Com o intuito de analisar o equilíbrio nutricional em função dos diferentes tratamentos, determinaram-se os índices DRIS e outros parâmetros relacionados com essa técnica (Tabela 3).

O método DRIS, não avalia os nutrientes separadamente, mas sim, faz uma correlação entre todos os nutrientes, avaliando mais precisamente as interações nutricionais (MARTINS et al., 2005; SILVA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2003). Através de relações binárias entre os nutrientes, o método DRIS transforma os valores das concentrações em índices que variam de positivo a negativo, se

negativo, mais limitante por deficiência estará o nutriente e se positivo, mais excessivo estará o nutriente (GUINDANI; ANGHINONI; NACHTIGALL, 2009). O somatório dos valores dos índices DRIS de cada nutriente, em módulo, fornece o índice de balanço nutricional (IBN), que permite comparar o equilíbrio nutricional global da planta, sendo que quanto menor o IBN, mais equilibrada uma planta se encontra (SILVA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2003).

O aumento de cálcio foliar proporcionou incremento da absorção de boro pelas plantas. PCECs abaixo de 45%, proporcionaram menores teores foliares de cálcio, diminuindo assim os teores de boro foliar. Segundo Marschner (1986), o cálcio auxilia a absorção de boro pelas plantas, pois preenche as cargas negativas no apoplasma (CTC de raiz), facilitando a passagem do ânion  $H_4BO_4^-$ .

Os teores de manganês apresentaram queda a medida que elevou-se as porcentagens de cálcio na CTC do solo, dados estes que concordam com Heinrichs et al. (2008), que verificaram que o aumento das porcentagens das bases no solo juntamente com o aumento do pH, proporcionou diminuição nos teores foliares de manganês no feijoeiro. O aumento da porcentagem de cálcio na CTC, aumentou os níveis de cálcio na zona radicular diminuindo a absorção de manganês em decorrência da competição pelo mesmo sítio de absorção (MALAVOLTA et al., 1997). O pH favorece a diminuição da absorção de manganês, pois muda a forma química deste no solo, impedindo a absorção pelas plantas. Segundo Heinrichs et al. (2008) o aumento de uma unidade no pH do solo diminui em 100 vezes a concentração de manganês.

De acordo com os índices DRIS, de cada nutriente, PCECs abaixo de 45%, apresentaram o boro como nutriente negativamente limitante, ou seja mais deficiente, e o manganês como nutriente positivamente limitante, ou seja em excesso. PCECs acima de 45% tiveram como nutriente mais deficiente, o enxofre, e em excesso, zinco (55:15:5), boro (65:15:5) e manganês (75:15:5).

O tratamento 55:15:5 foi o que conferiu o menor índice de balanço nutricional (IBN), 16.23. Esse dado mostra que uma planta cultivada em um solo equilibrado quimicamente, absorve os nutrientes de maneira correta, sem competição entre eles, apresentando um maior equilíbrio nutricional (CARNEIRO et al., 2006; KURIHARA et al., 1993).

**Tabela 3** – Teores foliares dos nutrientes na soja(BRS 184) com seus respectivos índices DRIS(ID), índice de matéria seca(IMS) e índice de balanço nutricional(IBN) em função das porcentagens de cálcio aplicadas ao solo.

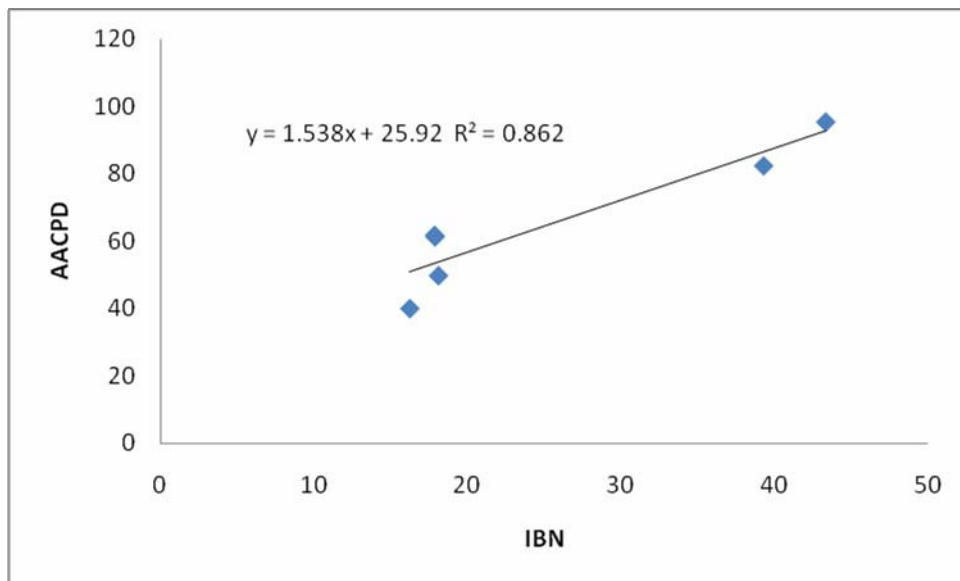
TRAT	B (mg/kg)	ID	Ca (g/kg)	ID	Cu (mg/kg)	ID	Fe (mg/kg)	ID	K (g/kg)	ID	Mg (g/kg)	ID
3 <sup>1</sup>	3.22	-14.93	10.79	0.56	7.91	-1.90	153.22	0.70	19.58	3.89	2.18	-0.70
35	2.43	-13.39	16.33	1.43	5.62	-2.52	130.26	1.16	16.00	3.96	3.03	1.02
45	29.75	-0.19	19.20	1.61	7.82	-1.66	180.64	0.63	14.27	0.20	3.46	0.91
55	41.81	0.83	18.67	1.70	7.04	-2.06	147.30	0.01	15.19	0.29	2.30	-0.80
65	63.63	2.39	19.61	1.78	5.81	-3.08	127.82	-0.18	15.75	0.50	2.30	-0.88
75	11.76	-2.52	21.01	2.03	6.04	-1.88	144.28	0.35	15.37	0.98	2.45	0.08

TRAT	Mn (mg/kg)	ID	N (g/Kg)	ID	P (g/kg)	ID	S (g/kg)	ID	Zn (mg/kg)	ID	pH <sup>2</sup>	IMS	IBN
3	332.21	11.19	55.41	0.45	2.14	1.57	0.59	-4.28	85.70	2.99	3.6	0.45	43.36
35	168.29	6.70	43.59	0.05	1.66	1.52	0.45	-3.75	75.85	2.99	4	0.82	39.31
45	177.12	2.73	43.75	-0.50	1.67	-1.79	0.45	-4.91	78.15	2.61	4.1	0.36	18.10
55	174.87	2.27	39.15	-1.03	2.65	0.24	0.52	-4.22	73.92	2.35	4.1	0.43	16.23
65	147.37	1.79	44.40	-0.54	2.28	-0.23	0.51	-4.03	69.04	2.13	4.3	0.34	17.87
75	143.85	2.37	41.62	-0.04	1.70	-0.62	0.55	-3.55	59.03	1.90	4.4	0.92	17.85

<sup>1</sup> Porcentagens de cálcio esperadas na CTC (PCECs).

<sup>2</sup> pH determinado após término do tratamento.

Efetuada o estudo de correlação entre IBN e AACPD (Figura 3) verifica-se que houve uma interação direta, isto é, a medida que diminuiu o IBN, reduziu a severidade da doença em razão do melhor equilíbrio nutricional. Estes dados estão de acordo com Ito et al. (1994), Mascarenhas et al. (1997), Balardin et al. (2006) e Santos et al. (2008), os quais concluem em seus trabalhos que uma planta equilibrada nutricionalmente consegue resistir mais ao ataque de patógenos.



**Figura 3** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de severidade da ferrugem da soja, em função do índice de balanço nutricional (IBN) calculado pelo DRIS.

## CONCLUSÃO

O equilíbrio das bases no solo, nas porcentagens de 55% de cálcio, 15% de magnésio e 5% de potássio, conferiu maior equilíbrio nutricional na soja proporcionando redução na severidade da ferrugem da soja.

Abaixo de 45% de cálcio na CTC total , coloca a lavoura em alto risco de severidade da ferrugem da soja, principalmente pela falta de cálcio foliar, restringindo absorção de boro.

O método DRIS mostrou-se eficiente para estimativa da AACPD através da variação do índice de balanço nutricional (IBN).

## REFERÊNCIAS

ALBRECHT, W. **Soil fertility and animal health**. 2. ed. Austin, Texas: ACRES U.S.A., 2005.

BALARDIN, R. S. et al. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 462-467, set./out. 2006.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. Disponível em:

<[http://www.consorcioantiferrugem.net/index.php?Conhe%26nbsp%3Bferrugem%26nbsp%3B:Ciclo\\_e\\_epidemiologia%26nbsp%3B](http://www.consorcioantiferrugem.net/index.php?Conhe%26nbsp%3Bferrugem%26nbsp%3B:Ciclo_e_epidemiologia%26nbsp%3B)> Acesso em: 12 jun. 2008.

\_\_\_\_\_. Disponível em:

[http://www.consorcioantiferrugem.net/index.php?Sobre\\_o\\_mapa:Em\\_destaque](http://www.consorcioantiferrugem.net/index.php?Sobre_o_mapa:Em_destaque)  
Acesso em: 10 dez. 2009.

DEBONA, D. et al. Efeito de níveis de cálcio e sombreamento em plantas de soja sobre a Infecção por *Phakopsora pachyrhizi*. Comunicação. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 5, set./out. 2008.

EMBRAPA SOJA. Disponível em:

<[http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver\\_alerta.php?cod\\_pagina\\_sa=198&cultura=1](http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=198&cultura=1)  
> Acesso em: 12 jun. 2008.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. 2004.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York, 1990.

FENILLE, R. C. et al. Efeito de fontes e doses de cálcio no tombamento do amendoineiro causado por *Rhizoctonia solani* AG 4 HGI, em condições controladas. **Summa Phytopathologica**, v. 26, p. 325-331, 2000.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic Scale for Assessment of Soybean Rust Severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, jan./fev. 2006.

GOMES, F. T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1779-1786, dez. 2002.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL G. R. Dris na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 109-118, 2009.

HEINRICHES, R. et al. Atributos Químicos do Solo e Produção do Feijoeiro com Aplicação de Calcário e Manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1157-1164, 2008.

ITO, M.F et. al. Efeito residual da calagem e adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchi*) da Soja. **Summa Phytopathologica**, v. 19, n. 1, 1993.

ITO, M. F et. al. Efeito residual da adubação potássica e da calagem sobre a incidência de *Phomopsis* spp. em sementes de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 19, n. 1, mar. 1994.

JONES, J. B.; HUBER, D. M. Magnesium and plant diseases. In : DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Minnessota U.S.A: APS Press, 2007. p. 95-100.

MA, W.; BERKOWITZ, G. A. The grateful dead: calcium and cell death in plant innate immunity. **Cellular Micobiology**, v. 9, n. 11, p. 2571-2585, 2007.

MAGNANI, E. B. Z.; ALVES, E.; ARAÚJO, D. V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, mar./abr. 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London. Academic Press. 1986.

MARTINS, L. A. et al. Monitoramento Nutricional do Trigo Através do Índice de Balanço Nutricional – DRIS. **Semina** : Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 4, p. 455-462, out./dez. 2005.

MCLEAN, E. O. **Interpretação de análise de solo**: diferentes conceitos na interpretação da análise de solo: nível de suficiência (limiar) de nutrientes disponíveis versus proporção de cátions na saturação de bases. Campinas: Fundação Cargill, 1984.

NOVAIS, R. B.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. B. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p 133-204.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-vegetação. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 329-335, abr./jun. 2001.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: Iapar, 1992. (Circular, n. 76).

PRABHU, A. S. et al. Potassium and plant disease. In: : DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Minnesota U.S.A: APS Press, 2007. p. 57-78.

KURIHARA et al. Nutrição mineral e crescimento da soja sob influência do equilíbrio entre Ca, Mg e K. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 381-387, out./dez. 1993.

RAHMAN, M; PUNJA, Z. K. Calcium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Minnesota U.S.A: APS Press, 2007. p. 79-93.

RICE, R. W. The physiological role of minerals in the plant. In: : DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Minnesota U.S.A: APS press, 2007. p. 9-30.

SANTOS, et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul.2008.

SILVA, F. C.. **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA, 1999.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES P. T. G. Uso do Dris na Avaliação do Estado Nutricional do Cafeeiro em Resposta à Adubação Potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 247-255, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2004.

TECNOLOGIAS de produção de soja: Paraná 2007. Londrina: Embrapa Soja, 2006. (Sistemas de Produção, 10).

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. N. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-326.

WALTERS, D. R.; BINGHAM, I. J. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plants disease control. **Annals of Applied Biology**, v. 151, p. 307-324, 2007.

WATANABE, R. T. et al. Produtividade da cultura da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 477-484, out./dez. 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 94, n. 4, 2003.