

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO  
CONTROLE QUÍMICO SOBRE O PROGRESSO DA  
FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Angélica Marian da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**

**DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO  
CONTROLE QUÍMICO SOBRE O PROGRESSO DA  
FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.**

**por**

**Angélica Marian da Silva**

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia.**

**Orientador: Prof. Jerônimo Luiz Andriolo**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Angelica Marian da  
Disponibilidade de cálcio associada ao controle químico sobre o progresso da ferrugem asiática da soja. / Angelica Marian da Silva.-2015.  
54 f.; 30cm

Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2015

1. Glycine max 2. Nutrição de plantas 3. doença 4. Phakopsora pachyrhizi 5. fungicida I. Andriolo, Jerônimo Luiz II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
Aprova a Dissertação de Mestrado**

**DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO  
CONTROLE QUÍMICO SOBRE O PROGRESSO DA  
FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.**

elaborada por  
**Angélica Marian da Silva**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Jerônimo Luiz Andriolo, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Marcelo Gripa Madalosso, Dr. (URI)**

---

**Mônica Paula Debortoli, Dra. (Instituto Phytus)**

Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por me dar força e coragem para seguir em frente todos os dias.

À Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Agradeço a toda minha família pelo apoio, em especial aos amores da minha vida meu pai Irineo José da Silva, minha mãe Roseli Marian da Silva, e meu irmão Gabriel Marian da Silva por todo amor, carinho, apoio, incentivo e suporte em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Professor Jerônimo Luiz Andriolo pela paciência, ajuda e ensinamentos ao longo destes dois anos.

Ao Professor Ricardo Silveiro Balardin por me acolher, orientar e sempre me ajudar em todos os momentos.

Ao Instituto Phytus em nome de sua diretora Clarice Rubin Balardin pela disponibilização de sua estrutura e recursos para a realização deste trabalho.

Ao Professor Marcelo Gripa Madalosso pela oportunidade de realização de estágio no Instituto Phytus, e através deste muito conhecimento e aprendizado adquiridos diariamente.

A todos os colegas do Instituto Phytus, em especial ao Diego Dalla Favera pela ajuda e apoio incondicional.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO CONTROLE QUÍMICO SOBRE O PROGRESSO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.**

AUTOR: ANGÉLICA MARIAN DA SILVA

ORIENTADOR: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

Local e data: Santa Maria/RS, 27 de Fevereiro de 2015.

A nutrição mineral é uma ferramenta que pode ser utilizada no manejo de doenças em soja. Uma planta com níveis nutricionais adequados é mais tolerante ao ataque de determinados fitopatógenos. O cálcio é componente estrutural da parede celular, sua maior ou menor disponibilidade afeta diretamente a resistência mecânica dos tecidos e, conseqüentemente, a reação da planta aos fitopatógenos. É necessário que outras formas de manejo sejam adotadas a fim de evitar a exposição excessiva dos fungos aos mesmos ingredientes ativos, fato que favorece o aparecimento de indivíduos resistentes. O trabalho teve por objetivo determinar o efeito da disponibilidade de cálcio sobre a severidade da ferrugem asiática da soja, o crescimento da planta e a produtividade de grãos em duas cultivares. O experimento foi conduzido em vasos com areia em casa de vegetação, entre 02 de dezembro de 2013 e 15 de abril de 2014. Os tratamentos foram constituídos de um fatorial (5x2x2), com parcelas subdivididas, cinco concentrações de cálcio em solução nutritiva, duas cultivares e com e sem aplicação do tratamento químico fungicida. Foram feitas sete avaliações da severidade da doença no estágio vegetativo e reprodutivo das plantas e determinada a área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF). Ao final do experimento foi determinada a massa seca da parte aérea, a produção de grãos, o número total de grãos por planta, o peso de mil grãos e o teor de cálcio nas folhas. Os resultados indicaram que o aumento da disponibilidade de cálcio aumentou o crescimento da parte aérea e diminuiu a severidade da doença, com aumento na produção de grãos nas plantas sem aplicação de fungicida, havendo interações com a cultivar. Concluiu-se que a nutrição com cálcio pode ser empregada no manejo da cultura visando reduzir a severidade da ferrugem asiática.

**Palavras-chave:** *Glycine max L.*. Nutrição de plantas, doença, *Phakopsora pachyrhizi*, fungicida.

## ABSTRACT

Master Dissertation  
Agronomy Post-graduation Program  
Universidade Federal de Santa Maria

### **CALCIUM AVAILABILITY ASSOCIATED WITH CHEMICAL CONTROL ON THE PROGRESS OF ASIAN SOYBEAN RUST.**

Author : Angélica Marian da Silva

Advisor: Luiz Jerônimo Andriolo

Local and Date: Santa Maria/RS, February 27<sup>st</sup>, 2015.

The mineral nutrition is a tool that can be used in the management of diseases in soybean. Plants grown under adequate nutritional levels are more tolerant to attack by certain pathogens. Calcium is a structural component of the cell wall, its availability directly affects the mechanical strength of tissues and thus the reaction of the plant to plant pathogens. Other cropping practices than fungicides have to be searched to avoid excessive exposure of fungi to the same active ingredients, a fact favoring the emergence of resistant individuals. The study aimed to determine the effect of calcium availability on the severity of Asian soybean rust, plant growth and grain yield in two cultivars. The experiment was conducted in pots with sand in a greenhouse, from December 2, 2013 to April 15, 2014. The treatments consisted of a split-split-plot factorial (5x2x2) design, with five calcium concentrations in nutrient solution, two soybean cultivars and with and without chemical fungicide control. Seven evaluations of disease severity were made during the plant vegetative and reproductive stages and the area under the disease progress curve (AURPC) was determined. At the end of the experiment, shoot dry weight, grain production, total number of grains per plant, thousand grain weight and the leaf calcium content were determined. Results indicated that by increasing calcium availability shoot growth was enhanced and disease severity was reduced, grain production was increased in plants without chemical control, with interactions between cultivars. It was concluded that calcium nutrition can be used in crop management to reduce the severity of the Asian soybean rust.

**Keywords:** *Glycine max* L., mineral nutrition, disease, *Phakopsora pachyrhizi*, fungicide.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sidow. Fonte: Reis et al., 2005.....	15
<b>Figura 2</b> – Efeito das concentrações de cálcio sobre a massa seca de parte aérea, em duas cultivares de soja, realizada no estágio de desenvolvimento Vn/R1. Santa Maria - RS, 2014.	26
<b>Figura 3</b> – Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF) de duas cultivares de soja cultivadas em concentrações de cálcio. Santa Maria - RS, 2014. ....	27
<b>Figura 4</b> – Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF) de duas cultivares de soja cultivadas com diferentes concentrações de cálcio, com (CF) e sem (SF) aplicação de fungicida. Santa Maria - RS, 2014.....	28
<b>Figura 5</b> – Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF) para duas cultivares de soja com (CF) e sem (SF) tratamento químico fungicida. Santa Maria - RS, 2014. ....	29
<b>Figura 6</b> - Teor de cálcio nas folhas de soja (R6) submetidos a diferentes concentrações de cálcio em solução nutritiva. Santa Maria - RS, 2014.....	30
<b>Figura 7</b> – Efeito dos diferentes níveis de cálcio em duas cultivares de soja, com (CF) e sem (SF) tratamento químico fungicida sobre a massa seca parte aérea (R6) e produção planta <sup>-1</sup> . Santa Maria - RS, 2014. ....	32
<b>Figura 8</b> - Número total de grãos planta <sup>-1</sup> em duas cultivares de soja, com e sem aplicação de fungicida. Santa Maria – RS, 2014.....	33
<b>Figura 9</b> – Efeito de diferentes disponibilidades de cálcio sobre a massa de mil grãos (MMG) em plantas de soja com (CF) e sem (SF) aplicação de fungicida. Santa Maria - RS, 2014.....	35

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>Anexo 1</b> – Escala fenológica de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977).....	45
--	----

## LISTA DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b> - Análise de variância (ANOVA) da variável massa seca de parte aérea (Vn/R1). .....	47
<b>Apêndice 2</b> - Análise de variância (ANOVA) da variável Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF). .....	47
<b>Apêndice 3</b> - Análise de Variância (ANOVA) para a variável teor de cálcio nas folhas (g kg <sup>-1</sup> ). .....	48
<b>Apêndice 4</b> - Análise de variância (ANOVA) da variável massa seca de parte aérea (R6). ...	48
<b>Apêndice 5</b> - Análise de variância (ANOVA) da variável produção de grãos (g planta <sup>-1</sup> ). ...	49
<b>Apêndice 6</b> - Análise de variância (ANOVA) para variável número total de grãos planta <sup>-1</sup> . .	49
<b>Apêndice 7</b> - Análise de variância (ANOVA) da variável massa de mil grãos. ....	50
<b>Apêndice 8</b> - Vista geral do experimento. Itaara - RS, 2014. ....	50
<b>Apêndice 9</b> - Equipamento para verificação da condutividade elétrica da solução nutritiva. .	51
<b>Apêndice 10</b> - Equipamento para verificação do pH da solução nutritiva. ....	51
<b>Apêndice 11</b> - Plantas de soja aos 7 DAE. Itaara – RS, 2014. ....	52
<b>Apêndice 12</b> - Plantas de soja aos 14 DAE. Itaara - RS, 2014. ....	52
<b>Apêndice 13</b> - Plantas de soja aos 21 DAE. Itaara - RS, 2014. ....	53
<b>Apêndice 14</b> - Momento da inoculação das plantas de soja. Itaara – RS, 2014. ....	53
<b>Apêndice 15</b> - Aplicação do Tratamento químico fungicida. Itaara – RS, 2014. ....	54
<b>Apêndice 16</b> - Pústulas de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> em folha de soja. Itaara – RS, 2014. ....	54

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
A CULTURA DA SOJA .....	13
FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA .....	14
NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS NO CONTROLE DE DOENÇAS .....	16
CÁLCIO .....	17
<b>DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO CONTROLE QUÍMICO SOBRE O PROGRESSO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....</b>	<b>19</b>
Resumo .....	19
Abstract.....	20
Introdução .....	20
Material e Métodos.....	22
Resultados e Discussão.....	26
Conclusões .....	35
<b>DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ARTIGO .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS .....</b>	<b>40</b>

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande expressão mundial, tanto pelo valor nutricional do grão quanto pela sua importância na economia. No Brasil, a constante expansão e consolidação de novas fronteiras agrícolas, principalmente no Norte do país, tem impulsionado a produção do grão, fazendo com que o país ocupe o segundo lugar em produção, somente atrás dos Estados Unidos. A estimativa de produção para a safra 2014/15 no Brasil é de 91 milhões de toneladas, 4% superior à safra 2013/14 (USDA, 2014). No entanto, a extensa área com monocultivo de soja promoveu o desenvolvimento e disseminação de inúmeras plantas daninhas, pragas e doenças, as quais são responsáveis pela redução do potencial produtivo da cultura (CASTRO et al., 2008). Entre as doenças, a ferrugem asiática é uma das principais ameaças à produtividade pela fácil disseminação do seu agente causador.

A ferrugem asiática da soja é causada pelo agente etiológico *Phakopsora pachyrhizi* Sidow. Na América do Sul, foi identificada no Paraguai, na safra de 2000/01, na safra seguinte chegou ao Brasil causando severos danos à cultura da soja (YORINORI et al., 2002; COSTAMILAN et al., 2002; REIS et al., 2002). A doença possui alto potencial de dano, pois provoca o rápido amarelecimento e queda prematura das folhas. Manifesta-se em condições de longos períodos de molhamento foliar provocados pelo orvalho, cerca de 6 horas, ou pela chuva e temperaturas em torno de 19° a 24° C. Além disso, o vento facilita a disseminação do patógeno a longas distâncias o que acelera ainda mais o processo de infecção.

A principal forma de controle da doença é através do manejo químico. Porém, este se restringe a três grupos químicos: os triazóis, as estrobilurinas e, mais recentemente, o grupo das carboxamidas. Em condições ideais para o desenvolvimento do patógeno são necessárias várias aplicações, o que eleva os custos de produção, além de que, diversas pulverizações com fungicidas de mesmo ingrediente ativo podem selecionar populações de organismos resistentes.

Nesse contexto, a nutrição mineral é uma ferramenta que pode auxiliar no manejo de doenças em plantas, promovendo mudanças na anatomia das plantas como células mais espessas ou com maior lignificação, outra maneira é através de alterações fisiológicas ou bioquímicas, as quais estimulam a produção de substâncias tóxicas ou “repelentes” aos fitopatógenos.

Dentre os nutrientes minerais, o cálcio desempenha um papel essencial no manejo de doenças, pois atua diretamente na lamela média, conferindo estabilidade às membranas e

afetando a produção de compostos fenólicos, os quais servem de alimento aos fitopatógenos (MALAVOLTA, 2006; HUBER, 2002; MARSCHNER, 2012). Na literatura, são escassos os estudos com cálcio na cultura da soja com essa finalidade.

O objetivo geral desse trabalho foi determinar o efeito da disponibilidade de cálcio sobre a severidade da ferrugem asiática da soja, crescimento da planta e produtividade de grãos em duas cultivares de soja.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito da disponibilidade de cálcio no meio radicular sobre o crescimento e partição da massa seca entre os órgãos da planta e sobre a produtividade da cultura;
- Avaliar o efeito do cálcio sobre a severidade da doença;
- Determinar o efeito da disponibilidade de cálcio combinada com a aplicação de fungicida sobre a severidade da doença;
- Determinar as interações entre a disponibilidade de cálcio, severidade da doença e cultivares sobre a produtividade da cultura.
- Inferir sobre o uso da nutrição cálcica como ferramenta de manejo da ferrugem asiática da soja.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### A CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta de ciclo anual, autógama, de caule ereto com ramificações que podem atingir uma altura de 75 a 125 cm. pertencente ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem Fabales, família Fabaceae, gênero *Glycine*, sendo a espécie *Glycine max* (L.)Merrill (SANTOS, 2008).

Originária da Ásia foi cultivada comercialmente nos Estados Unidos, primeiramente como forrageira e, depois, para a produção de grãos. A partir de 1941 a área cultivada com grãos superou a cultivada com forragem, e nos anos seguintes essa prática foi extinta.

A soja chegou ao Brasil através de Gustavo Dutra, na época professor da Escola de Agronomia da Bahia, o qual realizou os primeiros estudos sobre a cultura. Em 1900, chegou a São Paulo, levada por imigrantes japoneses, onde o Instituto Agrônomo de Campinas conduziu pesquisas e ofereceu sementes aos produtores rurais. Nesse mesmo ano a soja chegou ao Rio Grande do Sul, na cidade de Santa Rosa, onde encontrou condições favoráveis para o seu desenvolvimento, semelhantes às encontradas no Sul dos EUA (EMBRAPA, 2003). A partir dos anos 80, a soja estendeu-se para o cerrado, sendo cultivada nos estados de Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia, tornando a região dos cerrados atualmente a principal produtora de soja do País (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Na década de 1970 os EUA atingiram a posição de maior produtor mundial, com 75% do total (SANTOS, 2008). No Brasil, a soja consolidou-se como a principal cultura do agronegócio. Além do aumento em área houve o incremento de produtividade, devido a novas tecnologias disponibilizadas aos produtores como, por exemplo, cultivares mais adaptadas e altamente produtivas, manejo de solo, investimento em fertilizantes, irrigação, manejo de pragas e doenças. Na safra de 2003 o Brasil atingiu a posição de segundo maior produtor mundial do grão, atrás apenas dos EUA (EMBRAPA, 2003).

A soja é uma espécie de grande interesse econômico, devido aos seus teores de óleo e proteína que podem ultrapassar 20% e 40%, respectivamente e sua fácil comercialização (LOPES et al., 2002; SEDIYAMA, 2009). Grande parte da produção brasileira é exportada para a China e União Europeia (CONAB, 2015), onde o grão tem uma importância histórica na alimentação humana. No Brasil, a soja passa por processos industriais sendo utilizada na produção de óleo vegetal comestível, proteína texturizada e farelo empregado na produção de

rações para alimentação animal (SANTOS, 2008). Com a contínua expansão de fronteiras agrícolas, principalmente no Norte do País, aliada a pequena variação nos preços pagos ao produtor, a produção de soja segue aquecida com previsão de aumento de 4,8% na área plantada na safra 2014/15 (CONAB, 2015).

## **FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA**

A cultura da soja é acometida por inúmeras doenças ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. A ferrugem asiática é a mais importante devido ao seu alto potencial de dano e sua rápida disseminação. É uma doença policíclica, sendo que sua taxa de infecção depende do número de processos monocíclicos e da capacidade reprodutiva do patógeno. Em condições ideais para o desenvolvimento do patógeno são relatadas perdas de até 90% (BALARDIN, 2002).

A doença causada pelo patógeno *Phakopsora pachyrhizi* Sidow foi descrita pela primeira vez em 1902 no Japão. Em 1914 já havia relatos em vários países do continente asiático (REIS et al., 2004). Anos mais tarde detectou-se a presença da doença em países da África do Sul. No Brasil foi diagnosticada a título de epidemia na safra 2001/02 causando severos danos à cultura (YORINORI et al., 2005).

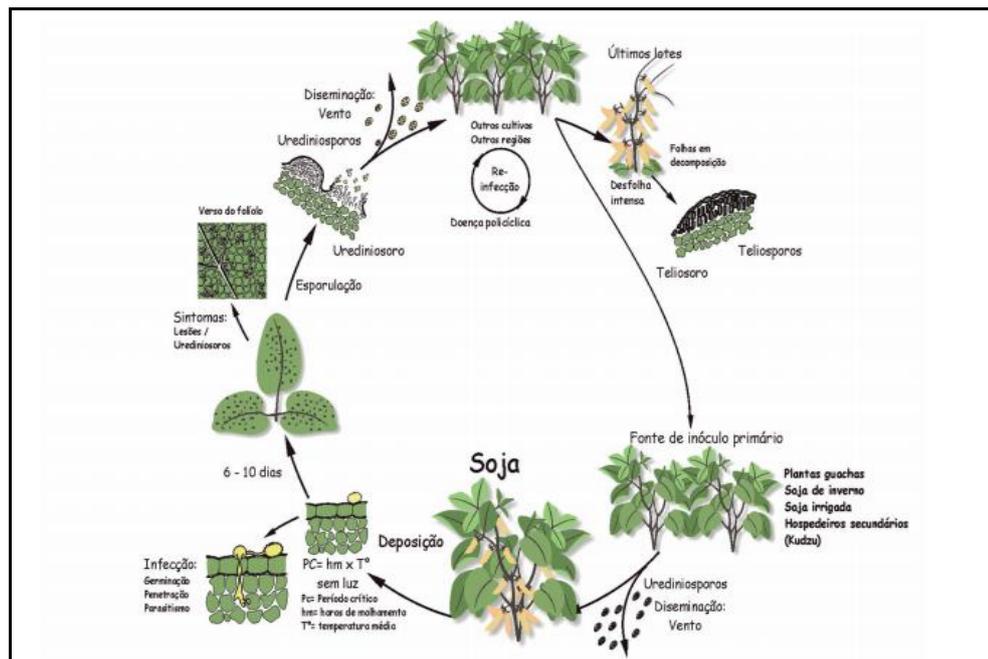
O agente causal da ferrugem é um parasita biotrófico, pertencente à classe dos Basidiomicetos, ordem Uredinales. Os sintomas da doença são denominados de lesões, pois ocorre à necrose do tecido foliar, e nas lesões podem existir várias urédias salientes com um poro central de onde são liberados os uredosporos (REIS et al., 2012). Estas urédias possuem 1 mm de diâmetro, na parte superior da folha possuem coloração pardo-avermelhada, enquanto que na parte inferior as lesões são de coloração castanho-clara a coloração-escura (ALMEIDA, 2005).

Os primeiros sintomas da doença iniciam-se nas folhas da parte inferior, devido ao microclima mais favorável. Após a multiplicação do fungo, esta pode ser detectada na parte superior da planta. O período de incubação do patógeno leva em torno de 9 a 10 dias onde se formam as urédias. Os uredosporos são produzidos após três semanas (BALARDIN, 2002).

O principal dano causado pela ferrugem asiática é a queda prematura das folhas e, conseqüentemente, redução na fotossíntese, crescimento da planta e produção de grãos (JULIATTI et al., 2004).

A disseminação do fungo ocorre através dos uredosporos. Esse tipo de esporo é pequeno e leve, portanto é facilmente removido das urédias e transportado a longas distâncias

pelas correntes de ar. Após sua deposição na superfície foliar, no momento em que as condições de temperatura e umidade do ar forem favoráveis, inicia-se o processo de germinação. Forma-se então, o tubo germinativo. Aproximadamente 4 a 6 horas após a infecção, suas extremidades aumentam de tamanho formando o apressório. Este por sua vez penetra através da cutícula da folha formando a hifa. Após a penetração da hifa primária ocorre o colapso das células epidérmicas (KOCH, 1983).



**Figura 1** - Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow. Fonte: Reis et al., 2006.

Na tentativa de reduzir a severidade e consequentemente as perdas provocadas pela doença, algumas práticas de manejo são recomendadas como, por exemplo, antecipação da semeadura, utilização de cultivares precoces, eliminação de plantas voluntárias durante a entressafra. Entretanto, a principal forma de controle ainda é o controle químico na parte aérea da cultura. A cada safra é necessário um número maior de aplicações, dependendo das condições climáticas de cada região.

Além do aumento nos custos de produção, o uso indiscriminado de fungicidas de mesmo ingrediente ativo pode promover a perda de sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow a esses produtos. No Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) existem atualmente 109 produtos registrados para o controle da ferrugem asiática da soja, isolados ou em misturas. Entretanto, esses produtos estão restritos a somente três grupos

químicos: triazóis, estrobilurinas e, mais recentemente, o grupo das carboxamidas (MAPA, 2014).

## **NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS NO CONTROLE DE DOENÇAS**

Plantas que sofrem algum tipo de estresse nutricional são mais suscetíveis ao ataque de fungos patogênicos do que aquelas com uma nutrição mineral adequada. Determinado nutriente pode reduzir a severidade/incidência de alguma doença e aumentar outra, através de mudanças metabólicas ou por proporcionar um microclima mais favorável ao seu desenvolvimento (DATNOFF et al., 2007).

A nutrição mineral estimula efeitos secundários nas plantas. Provoca alterações nas barreiras mecânicas, principalmente por mudanças na morfologia e anatomia vegetal como o desenvolvimento de células que tornam a parede celular mais espessa e com maior lignificação ou alterações bioquímicas como a redução de compostos fenólicos. Estes compostos podem aumentar ou diminuir a resistência ou tolerância das plantas ao ataque dos patógenos, pois atuam como inibidores do seu desenvolvimento ou restringem o acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular como os açúcares (glicose e sacarose) (MARSCHNER, 2012).

Na literatura são encontrados diversos estudos, principalmente, com potássio nitrogênio e fósforo, que mostram o efeito destes sobre as doenças.

Com relação ao potássio, quando sua disponibilidade é baixa, a síntese de compostos de alto peso molecular na célula, como proteínas, amido e celulose é prejudicada. Isso permite que ocorra acumulação de açúcares e aminoácidos, que são fonte nutricional e favorecem a germinação de esporos sobre a superfície da folha (PINHEIRO et al., 2011).

A presença de nitrogênio (N) também afeta a sensibilidade das plantas ao ataque de patógenos. Este estimula o crescimento de tecidos jovens, que são mais suscetíveis ao ataque de patógenos. A fonte de N utilizada, amônio ou o nitrato pode diminuir ou incrementar a severidade de algumas doenças (MORALES, 2007).

Vários trabalhos relatam o efeito do nitrogênio e do potássio sobre doenças parasitárias, porém há relatos de que a resposta varia dependendo da necessidade do parasita. Parasitas obrigatórios dependem de assimilados fornecidos por células vivas, enquanto parasitas facultativos, que são semissaprófitos, preferem tecidos senescentes ou que liberam toxinas a fim de danificar ou matar as células das plantas hospedeiras (MARSCHNER, 2012).

## CÁLCIO

O cálcio é um nutriente mineral classificado como macronutriente, ou seja, é exigido em grandes quantidades pelas culturas. É absorvido do solo por fluxo de massa e através da interceptação radicular. Sua absorção ocorre na forma de íon bivalente  $\text{Ca}^{2+}$ , sendo realizada unicamente pelas raízes jovens, nas quais as paredes celulares da endoderme não estão suberizadas. O cálcio é considerado imóvel quanto à redistribuição na planta. Seu transporte é unidirecional das raízes para a parte aérea através do xilema e ocorre juntamente com a água, sendo dependente, portanto, da transpiração (PRADO, 2008). Sua baixa redistribuição deve-se a sua forma predominante nas plantas, o pectato, o qual é insolúvel em água (MALAVOLTA, 2006).

Sua deficiência é diagnosticada primeiramente em regiões meristemáticas e nas folhas novas da planta. Os sintomas são deformação e clorose foliar e nos estádios mais avançados o amolecimento do tecido devido à alteração na estrutura da parede celular. O crescimento das raízes é severamente afetado, ocorre diminuição na frutificação e baixa produção de sementes (MENGEL & KIRKBY 2001). O excesso deste nutriente é tolerado pelas plantas sem toxidez até 10% nas folhas velhas. Entretanto em nível subcelular seu excesso pode precipitar o fósforo, diminuindo assim a produção de ATP e induzindo a deficiência de magnésio ou potássio (PRADO, 2008).

O cálcio é um nutriente que desempenha diversas funções dentro da planta. Participa da divisão celular, atua como componente da parede celular, mais especificamente na lamela média, onde cerca de 60% deste nutriente está presente (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN & BLOOM, 2006; HUBER, 2002). Na parede celular, quando o conteúdo de cálcio é insuficiente há o aumento do efluxo de compostos de baixo peso molecular como os açúcares, entre o citoplasma e o apoplasto da célula. Esses compostos servem de alimento para muitos fungos e bactérias, as quais invadem o tecido vegetal, mediante a produção de enzimas pectolíticas extracelulares como, por exemplo, a poligalacturonase. Entretanto, esta enzima tem sua atividade drasticamente inibida pela presença do cálcio (MARSCHNER, 2012).

O cálcio atua como mensageiro secundário na conversão de sinais bióticos como infecção por patógenos e abióticos como salinidade, choques de frio e calor, elevadas concentrações de alumínio, entre outros (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Participa do processo de crescimento radicular. Experimentos realizados em solução nutritiva demonstram que, quando cessa o suprimento de cálcio ocorre a paralização do crescimento devido à inibição do processo de alongação celular (MARSCHNER, 2012). Importante também na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, sendo indispensável, portanto na fecundação

das flores, fixação dos botões florais e formação das vagens (FAQUIN; MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS 2005).

Resultados obtidos por Santos et.al (2008) na cultura do cafeeiro mostraram que menores concentrações de potássio e maiores concentrações de cálcio, durante a fase de granação, conferiram maior equilíbrio nutricional às plantas e aumentaram a resistência a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) e a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Esse efeito ocorre porque o excesso de potássio diminui a absorção de cálcio devido à competição pelos mesmos sítios ativos de absorção. A murcha do tomateiro, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* é bastante frequente quando há deficiência de cálcio. Experimentos mostram redução na severidade com aplicações deste nutriente, em consequência da inibição da atividade da poligalacturonase produzida pelo fungo (ZAMBOLIM et al., 2012).

Yermiyahua et al., (2006), avaliando os efeitos de diferentes concentrações de nitrogênio e cálcio na solução de irrigação na esporulação de *Botrytis cinerea* em manjerição, destacou que a redução da concentração de nitrogênio e aumento da concentração de cálcio na solução de irrigação, reduziu a esporulação de *Botrytis cinerea* em tecidos infectados.

1 **DISPONIBILIDADE DE CÁLCIO ASSOCIADA AO CONTROLE QUÍMICO SOBRE**  
2 **O PROGRESSO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.**

3  
4 **CALCIUM AVAILABILITY ASSOCIATED WITH CHEMICAL CONTROL ON THE**  
5 **PROGRESS OF ASIAN SOYBEAN RUST.**  
6

7 **Resumo**

8 O trabalho teve por objetivo determinar o efeito da disponibilidade de cálcio sobre a  
9 severidade da ferrugem asiática da soja, o crescimento da planta e a produtividade de grãos  
10 em duas cultivares. O experimento foi conduzido em vasos com areia em casa de vegetação,  
11 entre 02 de dezembro de 2013 e 15 de abril de 2014. Os tratamentos foram constituídos de um  
12 fatorial (5x2x2), com parcelas sub subdivididas, cinco concentrações de cálcio em solução  
13 nutritiva, duas cultivares e com e sem aplicação do tratamento químico fungicida. Foram  
14 feitas sete avaliações da severidade da doença no estágio vegetativo e reprodutivo das plantas  
15 e determinada a área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF). Ao final do  
16 experimento foi determinada a massa seca da parte aérea, a produção de grãos, o número total  
17 de grãos por planta, o peso de mil grãos e o teor de cálcio nas folhas. Os resultados indicaram  
18 que o aumento da disponibilidade de cálcio aumentou o crescimento da parte aérea e diminuiu  
19 a severidade da doença, com aumento na produção de grãos nas plantas sem aplicação de  
20 fungicida, havendo interações com a cultivar. Concluiu-se que a nutrição com cálcio pode ser  
21 empregada no manejo da cultura visando reduzir a severidade da ferrugem asiática.

22 **Palavras-chave:** *Glycine max L.*. Nutrição de plantas, doença, *Phakopsora pachyrhizi*,  
23 fungicida.

## 24 **Abstract**

25 The study aimed to determine the effect of calcium availability on the severity of Asian  
26 soybean rust, plant growth and grain yield in two cultivars. The experiment was conducted in  
27 pots with sand in a greenhouse, from December 2, 2013 to April 15, 2014. The treatments  
28 consisted of a split-split-plot factorial (5x2x2) design, with five calcium concentrations in  
29 nutrient solution, two soybean cultivars and with and without chemical fungicide control.  
30 Seven evaluations of disease severity were made during the plant vegetative and reproductive  
31 stages and the area under the disease progress curve (AURPC) was determined. At the end of  
32 the experiment, shoot dry weight, grain production, total number of grains per plant, thousand  
33 grain weight and the leaf calcium content were determined. Results indicated that by  
34 increasing calcium availability shoot growth was enhanced and disease severity was reduced,  
35 grain production was increased in plants without chemical control, with interactions between  
36 cultivars. It was concluded that calcium nutrition can be used in crop management to reduce  
37 the severity of the Asian soybean rust.

38 **Index terms:** *Glycine max*; mineral nutrition, disease, *Phakopsora pachyrhizi*, fungicide

39

## 40 **Introdução**

41 A cultura da soja é acometida por inúmeras doenças ao longo do seu ciclo de  
42 desenvolvimento. Dentre estas, a principal é a ferrugem asiática, causada pelo agente  
43 etiológico *Phakopsora pachyrhizi* Sidow. Sua rápida disseminação, facilitada pelas correntes  
44 de ar, devido à leveza dos esporos, provoca epidemias a longas distâncias. O patógeno está  
45 disseminado em todas as regiões produtoras de soja e provoca perdas que podem ser de até  
46 80% sob condições ótimas de desenvolvimento (ALMEIDA et al., 2005; YORINORI et al.,  
47 2005; SOARES et al., 2004). Seu alto potencial de dano deve-se às condições ambientais de  
48 temperaturas entre 19 e 24° C e períodos de molhamento foliar em torno de 6 horas, as quais

49 são facilmente encontradas durante o período de desenvolvimento da cultura da soja no Brasil  
50 (YONG et al., 2011).

51 A principal forma de controle, até o momento, é através do controle químico com  
52 aplicação de fungicidas. Este se destaca por elevar os custos de produção, devido à  
53 necessidade de várias pulverizações (LIMA et al., 2010). De acordo com dados apresentados  
54 por Soares (2013), desde a primeira ocorrência da doença no Brasil na safra 2001/02 até a  
55 safra de 2008/09, estima-se um custo de US\$19 bilhões somando as perdas de produtividade e  
56 o custo com o controle químico. O uso indiscriminado de fungicidas aliado a aplicações em  
57 momentos inadequados resulta em um controle pouco eficiente (GODOY; CANTERI, 2004),  
58 que além de elevar os custos aumenta o tempo de exposição do patógeno ao mesmo grupo  
59 químico quando várias aplicações são realizadas, favorecendo a seleção de indivíduos  
60 resistentes ou tolerantes ao fungicida.

61 As plantas necessitam de vários elementos minerais para o seu crescimento e  
62 desenvolvimento. Quando sofrem algum estresse nutricional tornam-se mais suscetíveis ao  
63 ataque de patógenos. Os nutrientes estão envolvidos nos mecanismos de defesa como  
64 componentes integrais das células, membranas, enzimas e também como ativadores,  
65 inibidores e reguladores de crescimento (HUBER, 2005). O cálcio tem papel fundamental na  
66 redução da severidade de doenças em plantas. Este nutriente confere estabilidade às  
67 membranas sendo, portanto, responsável pelo movimento de vários metabólitos entre as  
68 células (ZAMBOLIM, 2012). Em níveis insuficientes de cálcio o efluxo de compostos de  
69 baixo peso molecular entre o citoplasma e o apoplasto da célula aumenta. Estes servem de  
70 alimento aos patógenos, que ao invadirem as células produzem enzimas pectolíticas como a  
71 poligalacturonase, responsável por dissolver a lamela média das plantas hospedeiras. A  
72 atividade desta enzima é inibida pela presença de cálcio (MARSCHNER, 2012).

73 Na literatura científica são escassas as informações sobre a influência da  
74 disponibilidade de cálcio na severidade da ferrugem asiática da soja. Os resultados de  
75 Pinheiro et al. (2011) indicaram que concentrações elevadas de cálcio e potássio na solução  
76 nutritiva reduziram a severidade dessa doença. Em cafeeiro, Garcia Júnior et al., (2003)  
77 também verificaram redução da AACPF por efeito da concentração de cálcio e potássio na  
78 solução nutritiva. Entretanto, esses autores não determinaram o efeito isolado de cada um  
79 desses dois nutrientes no crescimento da planta e produtividade de grãos. Porém, em  
80 tomateiro houve redução da murcha de *Fusarium* em plantas cultivadas com elevada  
81 disponibilidade de cálcio (EDGINGTON & WALKER, 1958; CORDEN, 1965).

82 O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da disponibilidade de cálcio no meio  
83 radicular combinado com a aplicação de fungicida sobre o crescimento da planta, severidade  
84 da ferrugem asiática e produtividade de grãos em duas cultivares de soja.

85

## 86 **Material e Métodos**

87 O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no ano agrícola 2013/14, nas  
88 instalações da estação experimental do Instituto Phytus, localizada no município de Itaara,  
89 região central do Rio Grande do Sul, latitude 29°35' S, longitude 53°48' W e altitude de 444  
90 m.

91 O dispositivo experimental foi constituído por bancadas de fibrocimento construídas a  
92 0,80m de altura e revestidas com polietileno de baixa densidade de 100 µm de espessura. As  
93 plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 5 dm<sup>3</sup> contendo areia grossa como  
94 substrato, a qual foi previamente lavada como forma de esterilização. Com granulometria  
95 entre 0,30 a 0,8 mm e capacidade máxima de retenção de água de 0,296 L dm<sup>3</sup>. As plantas  
96 foram fertirrigadas em sistema fechado empregando uma bomba submersa com vazão de 520  
97 L h<sup>-1</sup>. A solução nutritiva foi preparada em reservatórios de fibra de vidro de 500 L e

98 distribuída às plantas através de fitas gotejadoras, com um gotejador por vaso na vazão de 1,3  
99 L h<sup>-1</sup>. Foram feitas quatro fertirrigações diárias em sistema fechado, com frequência e tempo  
100 de duração determinados conforme descrito por PARDOSSI et. al. (2011).

101 Os tratamentos foram constituídos de um fatorial (5x2x2) com cinco concentrações de  
102 cálcio na solução nutritiva, duas cultivares de soja e com e sem aplicação do tratamento  
103 químico fungicida para controle da ferrugem da soja. As concentrações de cálcio, em mmol  
104 L<sup>-1</sup> foram: 1,11 (T1); 1,67 (T2); 2,23 (T3); 2,78 (T4) e 3,34 (T5). As concentrações dos  
105 demais nutrientes foram, respectivamente, em mmol L<sup>-1</sup>, para o N total: 6,62; 7,94; 7,76; 8,25  
106 e 9,12; para o H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: 1,5; 1,0; 1,0; 2,5 e 3,0; para o K<sup>+</sup>: 4,5; 5,0; 5,0; 5,7 e 5,25; para o Mg<sup>2+</sup>:  
107 1,0; 1,0; 1,0; 1,0 e 1,5. As concentrações dos micronutrientes foram, em mg L<sup>-1</sup>, de: 0,03 de  
108 Mo; 0,26 de B; 0,06 de Cu; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn, por meio de uma solução estoque. Os  
109 fertilizantes empregados foram o nitrato de potássio, nitrato de cálcio-Calclinit®, monofosfato  
110 de potássio, nitrato de amônio, sulfato de potássio e sulfato de magnésio. A concentração do  
111 ferro foi 1,0 mg L<sup>-1</sup> fornecido separadamente na forma quelatizada. A entrada da solução  
112 ocorreu doze dias após a semeadura. Três vezes por semana foi realizado o monitoramento  
113 do pH e da condutividade elétrica da solução, os quais foram mantidos entre 5,5 e 6,5 e 1,1 e  
114 1,8 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. As correções do pH foram feitas adicionando-se alíquotas de  
115 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou KOH na concentração 1 M e de condutividade elétrica mediante adição de volumes  
116 complementares de solução nutritiva ou de água.

117 As cultivares de soja foram BMX Energia® RR e NA 5909® RG e nos tratamentos  
118 com controle químico foi utilizado o fungicida a base de trifloxistrobina (150 g L<sup>-1</sup>) +  
119 protioconazol (175 g L<sup>-1</sup>), (Fox®, Bayer Crop Science) na dose de 0,4 L p.c.ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado  
120 o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas, onde as  
121 concentrações de cálcio constituíram a parcela principal, as cultivares de soja a subparcela e o

122 tratamento químico (com e sem aplicação) a sub-subparcela. Foram utilizadas cinco  
123 repetições por tratamento, com 1 planta por parcela.

124 A semeadura ocorreu no dia 02 do mês de dezembro de 2013. Nos tratamentos com  
125 controle químico foram realizadas três pulverizações com intervalos de 21 dias, iniciando no  
126 estágio de desenvolvimento V5, de acordo com a escala fenológica Fehr & Caviness (1977).  
127 Na Tabela 1 encontram-se as datas e respectivas condições meteorológicas no momento das  
128 pulverizações. Foi empregado um pulverizador costal pressurizado à CO<sub>2</sub>, dotado de barra  
129 com duas pontas do tipo leque plano XR 110 02, com pressão de 30 kpa e calibrado para uma  
130 vazão de 150 L ha<sup>-1</sup>. No momento das pulverizações, as plantas foram retiradas das bancadas  
131 da casa de vegetação e recolocadas no dia seguinte.

132 **Tabela 1.** Condições meteorológicas no momento das aplicações dos tratamentos do  
133 experimento. Itaara, RS/2014.

134

<b>Data</b>	<b>Hora Inicial</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Temperatura Final (°C)</b>	<b>Umidade Relativa (%)</b>	<b>Velocidade do Vento (Km/h)</b>
04/01/2014	17:30	20:30	25,0	24,5	65	2,5
25/01/2014	18:00	20:15	24,6	24,5	60	3,0
15/02/2014	17:30	20:00	25,0	24,8	69	3,3

135

136 A infecção por *Phakopsora pachyrhizi* Sidow foi obtida através da inoculação das  
137 plantas no estágio de desenvolvimento V5/V6. Foram realizadas três inoculações, com  
138 auxílio de um compressor propelido a CO<sub>2</sub>, com intervalos de sete dias, durante o período  
139 noturno com objetivo de manter o molhamento proporcionado pela suspensão. Os  
140 uredósporos foram coletados em lavouras comerciais com auxílio de um succionador a vácuo.  
141 A calibração da suspensão foi feita através da Câmara de Neubauer, com auxílio de

142 microscópio ótico, ajustando a concentração para  $2 \times 10^5$  uredósporos  $\text{mL}^{-1}$ . Foi adicionado à  
 143 suspensão o espalhante adesivo Tween 80, na concentração de  $0,1 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

144 Foi determinada a massa seca de parte aérea no final do estágio vegetativo (Vn/R1) e  
 145 no estágio de desenvolvimento R6. Em cada uma das determinações as plantas foram  
 146 separadas em raízes, folhas, hastes e vagens, quando presentes, e secas em estufa de  
 147 circulação de ar forçado na temperatura de  $60^\circ\text{C}$  até constatar massa constante entre duas  
 148 pesagens consecutivas. Após a secagem, as folhas da segunda determinação de massa seca de  
 149 parte aérea (R6) foram moídas e encaminhadas ao laboratório de análise de tecidos vegetais  
 150 da UFSM para determinação do teor de cálcio. Quando as plantas atingiram o estágio de  
 151 maturação fisiológica (R9), as plantas foram colhidas manualmente para determinar o número  
 152 de grãos por planta, a massa de mil grãos e a produção de grãos por planta, considerando um  
 153 teor de umidade de 13%.

154 A severidade da doença foi obtida através de notas visuais em avaliações realizadas  
 155 semanalmente após o aparecimento da primeira pústula. Foram realizadas sete avaliações  
 156 durante o desenvolvimento da cultura, as três primeiras foram realizadas no dia da aplicação  
 157 do tratamento fungicida (Pré-Spray) e quatro avaliações subsequentes aos 7, 14, 21 e 28 dias  
 158 após a última aplicação. Esses dados foram utilizados para estimar a Área Abaixo da Curva de  
 159 Progresso da Ferrugem (AACPF) através da equação matemática:

$$160 \quad \text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(Y_{i+1} + Y_i) * 0,5] * (T_{i+1} - T_i)$$

161 Sendo:

162  $Y_i$ : severidade da doença na época de avaliação  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ )

163  $Y_{i+1}$ : severidade da doença na época de avaliação  $i + 1$

164  $T_i$ : época da avaliação  $i$ , que considera o número de dias após a emergência das plantas.

165  $T_{i+1}$ : época da avaliação  $i + 1$

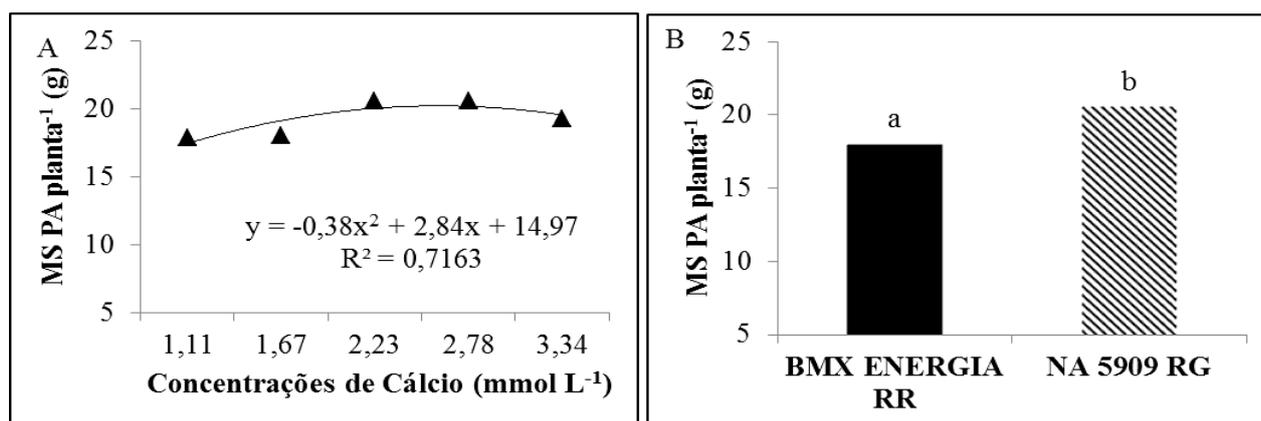
166  $n = n^\circ$  de observações

167 Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As variáveis para as quais  
 168 foi obtida significância pelo Teste F foram comparadas através da análise de regressão, no  
 169 caso de quantitativas, ou pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), no caso de qualitativas, empregando o  
 170 programa estatístico SISVAR (UFLA, versão 4.2).

## 171 Resultados e Discussão

172 A análise de variância para os dados da primeira determinação de massa seca de parte  
 173 aérea (Vn/R1), apresentou valores do teste F significativos para concentrações de cálcio  
 174 (Fator A) e para cultivares (Fator C) (Apêndice 1), sem interações entre os fatores.

175 A concentração de cálcio aumentou a massa seca de parte aérea (Figura 2A). Entre  
 176 cultivares, houve maior acúmulo de massa seca de parte aérea na cultivar NA 5909 RG  
 177 (Figura 2B). Nessa determinação não foram observadas diferenças por efeito da doença e isso  
 178 pode ser atribuído ao curto período de tempo decorrido desde a inoculação, que foi em torno  
 179 de 10 dias. Esse período pode ter sido muito curto para que a infecção se estabelecesse e  
 180 apresentasse sinais, pois *P. pachyrhizi* é um fungo biotrófico, o qual necessita de tecido vivo  
 181 do hospedeiro para sua disseminação (YORINORI, 2004).

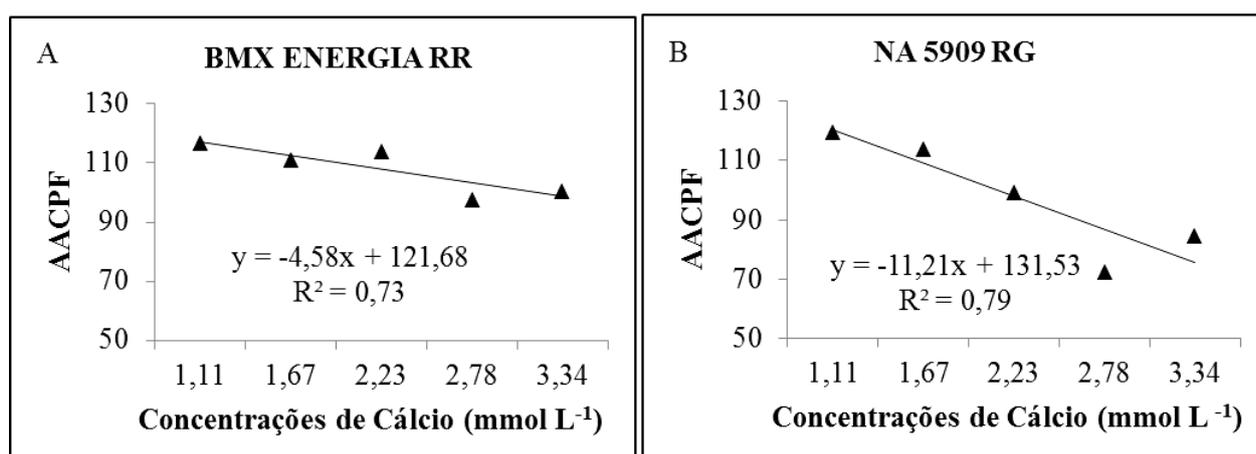


182 **Figura 2** – Efeito das concentrações de cálcio sobre a massa seca de parte aérea, em duas  
 183 cultivares de soja, realizada no estágio de desenvolvimento Vn/R1. Santa Maria - RS, 2014.

185

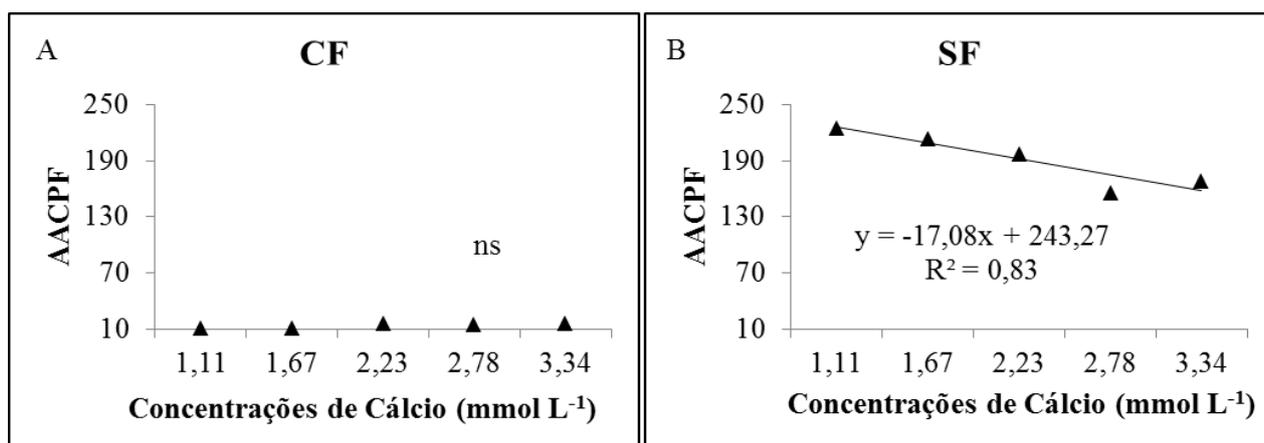
186 A partir das avaliações de severidade da ferrugem asiática, calculou-se a Área Abaixo  
 187 da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF). A análise da variância da AACPF apresentou  
 188 significância entre as interações concentrações de cálcio x cultivares, concentrações de cálcio  
 189 x tratamento químico e cultivares x tratamento químico (Apêndice 2).

190 As concentrações de cálcio reduziram linearmente a AACPF em ambas as cultivares  
 191 (Figura 3 A e B). Entretanto, a redução foi maior na cultivar NA 5909 RG , com coeficiente  
 192 angular da regressão 2,4 vezes menor em número absoluto. Isso significa que o aumento de  
 193 três vezes na disponibilidade de cálcio no meio radicular reduziu a incidência da doença nessa  
 194 cultivar em 19,63%.



195 **Figura 3** – Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF) de duas cultivares de  
 196 soja cultivadas em concentrações de cálcio. Santa Maria - RS, 2014.

197  
 198 Sobre a interação entre as concentrações de cálcio x tratamento químico, não foi  
 199 observada diferença significativa na AACPF entre as concentrações nas plantas com fungicida  
 200 (CF) (Figura 4 A). Entretanto, essa variável decresceu linearmente nas plantas sem fungicida  
 201 (SF), com uma redução de 17% entre a menor e a maior concentração de cálcio estimado pela  
 202 equação (Figura 4 B). Essa redução foi superior àquela relatada por Morales et al., (2011) a  
 203 qual foi de apenas 4% em avaliação realizada aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos.



204 **Figura 4** – Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF) de duas cultivares de  
 205 soja cultivadas com diferentes concentrações de cálcio, com (CF) e sem (SF) aplicação de  
 206 fungicida. Santa Maria - RS, 2014.

207

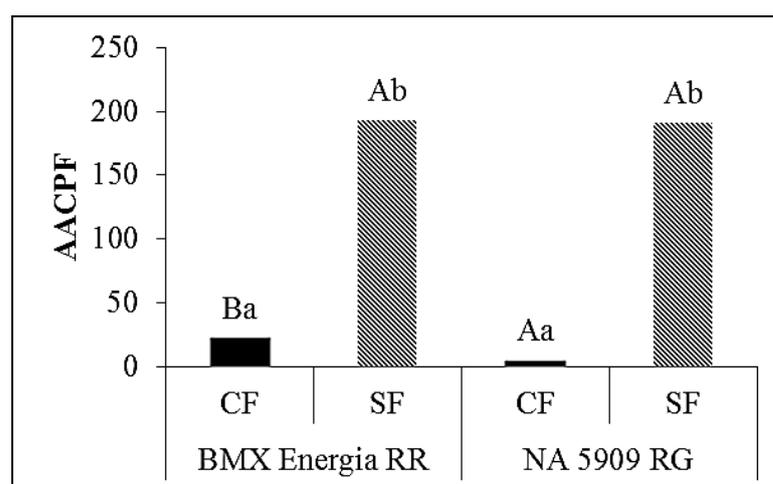
208 As diferenças observadas na AACPF das plantas com e sem fungicida por efeito do  
 209 cálcio refletem diferentes situações. A severidade da doença foi baixa nas plantas que foram  
 210 tratadas com fungicida, o que explica a falta de interação significativa com as plantas sem  
 211 tratamento. Isso significa que o aumento da disponibilidade de cálcio, considerado  
 212 isoladamente, não reduziu a severidade da doença de forma semelhante ao fungicida.  
 213 Entretanto, no experimento foram feitas três aplicações de fungicida. Caso um número menor  
 214 de aplicações fosse feita e/ou outro princípio ativo fosse empregado o efeito do cálcio poderia  
 215 ter sido significativo. Nesse caso a combinação da adubação com cálcio com o controle  
 216 químico poderia ser uma alternativa de manejo a ser empregada.

217 Os resultados de Debona et. al. (2008) indicaram que o aumento das doses de calcário  
 218 aplicado no solo reduziu a severidade da ferrugem asiática 21 dias após a inoculação da  
 219 doença feita no estádio V7. Entretanto, esses autores não evidenciaram se esse efeito foi  
 220 devido unicamente à nutrição do cálcio ou ao efeito da calagem no meio radicular. Os  
 221 resultados atuais são originais, porque a concentração dos nutrientes foi controlada e mantida  
 222 uniforme no decorrer de todo o período do experimento e as plantas foram conduzidas até o

223 final do desenvolvimento, com determinação do crescimento, produção de grãos e absorção  
 224 do cálcio pela planta.

225 Na interação entre cultivares x tratamento químico (Figura 5) fica evidente as  
 226 características de cada cultivar em resposta a aplicação do fungicida para o controle de  
 227 *Phakopsora pachyrhizi*. Entre cultivares, não houve diferença na AACPF para as plantas sem  
 228 tratamento químico fungicida (SF). Houve diferença somente entre plantas com e sem  
 229 aplicação de tratamento químico, dentro da própria cultivar. No tratamento com fungicida, a  
 230 cultivar NA 5909 RG apresentou desempenho superior à BMX Energia RR, com menor valor  
 231 de AACPF, isso significa que as cultivares responderam de forma diferente à aplicação do  
 232 fungicida. Cruvinel et al. (2004) e Polizel (2011) estudaram o progresso da ferrugem asiática  
 233 em cultivares de soja utilizando a AACPD e também encontraram diferenças significativas  
 234 entre os genótipos. Esse resultado indica que o melhoramento genético contínuo em busca de  
 235 altas produtividades, pode comprometer outras características importantes como a resistência  
 236 genética à doenças. Se esta característica não for considerada no momento da seleção, podem  
 237 ser perdidos os genes que conferem a resistência a determinada doença (YORINORI, 2002).

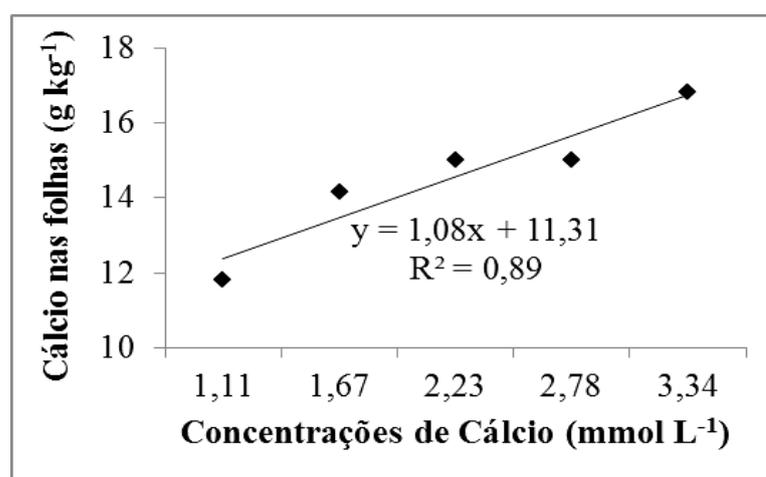
238



239 **Figura 5** – Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF) para duas cultivares de  
 240 soja com (CF) e sem (SF) tratamento químico fungicida. Santa Maria - RS, 2014. <sup>1</sup> Letras  
 241 maiúsculas mostram as diferenças entre as cultivares e letras minúsculas as diferenças dentro  
 242

243 de cada cultivar . Letras iguais não diferem estatisticamente através do Teste Tukey ( $p <$   
244  $0,05$ ).

245 A determinação do teor de cálcio nas folhas foi realizada somente para as plantas sem  
246 tratamento químico fungicida (SF) pois os dados da análise de variância para a variável  
247 severidade não foram significativos nas plantas em que foi realizada aplicação de fungicida  
248 (CF). Houve efeito significativo para as concentrações de cálcio (Fator A), sem interação com  
249 as cultivares (Apêndice 3). A acumulação foi linear (Figura 6), com aumento de 42,27 %  
250 entre a menor e a maior concentração na solução nutritiva. Essas concentrações situaram-se  
251 dentro da faixa ideal indicada pela CQFS-RS (2004). Esse resultado indica que o aumento da  
252 disponibilidade de cálcio nas raízes foi eficiente em aumentar a concentração de cálcio nas  
253 folhas.



254  
255 **Figura 6** - Teor de cálcio nas folhas de soja (R6) submetidos a diferentes concentrações de  
256 cálcio em solução nutritiva. Santa Maria - RS, 2014.

257  
258 O crescimento da planta e a produção de grãos diferiram entre os tratamentos, sendo  
259 significativa a interação concentrações de cálcio x cultivares x tratamento químico (Apêndice  
260 4 e 5). Na segunda avaliação de massa seca de parte aérea (R6), nos tratamentos com  
261 fungicida (CF) (Figura 7A e C), as cultivares apresentaram comportamento distinto. Para a

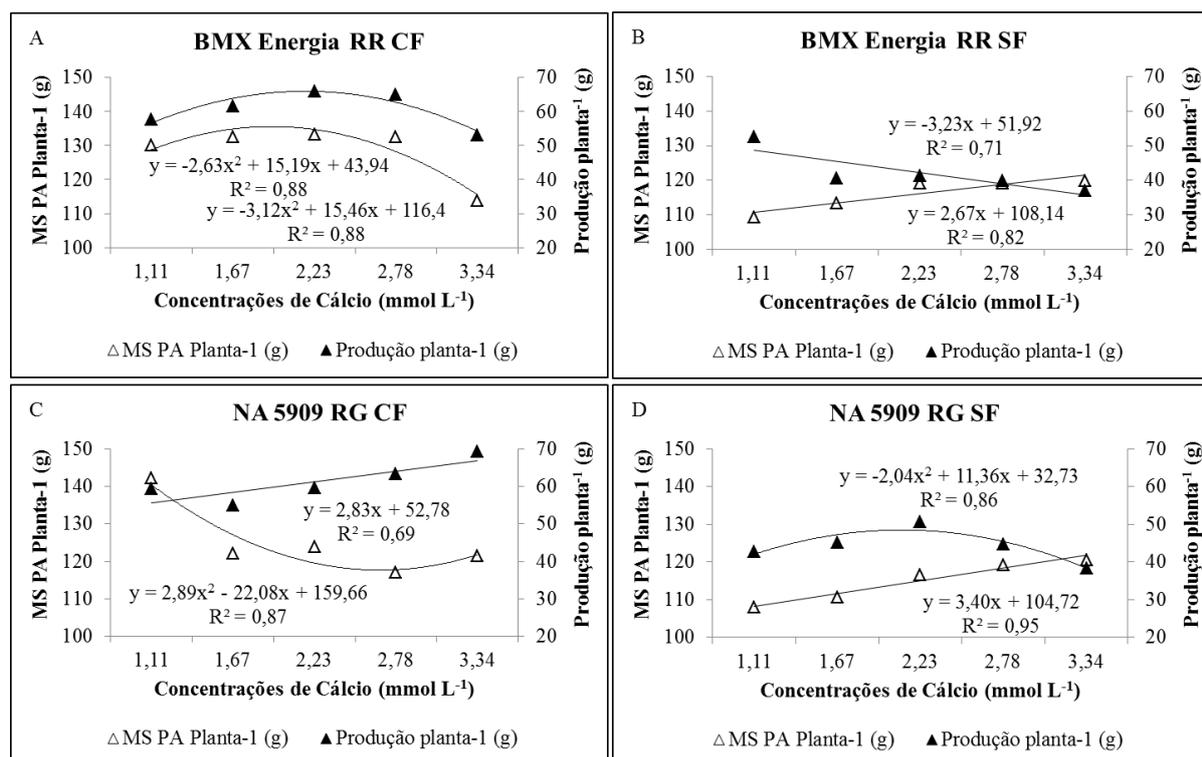
262 cultivar BMX Energia RR, houve aumento seguindo um modelo polinomial nas plantas que  
263 receberam tratamento químico fungicida (CF), com ponto de máxima na concentração de  
264 cálcio de 2,45 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 7 A e C).

265 Nas plantas que não receberam tratamento químico fungicida (SF) (Figura 7B e D),  
266 houve incremento de massa seca de parte aérea com aumento das concentrações de cálcio, em  
267 ambas as cultivares. Este resultado, atribui-se ao fato de que essas plantas, também  
268 apresentaram reduções lineares na AACPF, o que impediu a desfolha precoce provocada pela  
269 doença. Tanto a área foliar que intercepta a radiação fotossinteticamente ativa como o tempo  
270 de vida das folhas são fatores que influenciam a fotossíntese e, por consequência, a  
271 produtividade (RODRIGUES, 2006).

272 A análise de variância para produção de grãos mostrou significância entre a interação  
273 das concentrações de cálcio x cultivares x tratamento químico. As plantas da cultivar BMX  
274 Energia RR que receberam tratamento químico fungicida (CF) (Figura 7A e C) responderam  
275 polinomialmente ao incremento nas doses de cálcio, com máxima eficiência técnica na  
276 concentração de 2,8 mmol L<sup>-1</sup>. A cultivar NA 5909 RG aumentou linearmente até a  
277 concentração mais elevada.

278 As plantas sem tratamento químico fungicida (SF), apresentaram comportamento  
279 distinto entre as cultivares. A BMX Energia RR aumentou a massa seca da parte aérea e  
280 reduziu a produção de grãos (Figura 7B) enquanto a cultivar NA 5909 RG aumentou o  
281 crescimento da massa seca de forma similar à cultivar BMX Energia, mas a produção de  
282 grãos aumentou polinomialmente até a concentração de cálcio de 2,8 mmol L<sup>-1</sup>. Fica evidente  
283 que, para a cultivar BMX Energia RR (SF), mesmo que o cálcio tenha amenizado os efeitos  
284 da doença (Figura 3B) e aumentado a massa seca da parte aérea (Figura 7B), não foi  
285 suficiente para aumentar a produção de grãos.

286



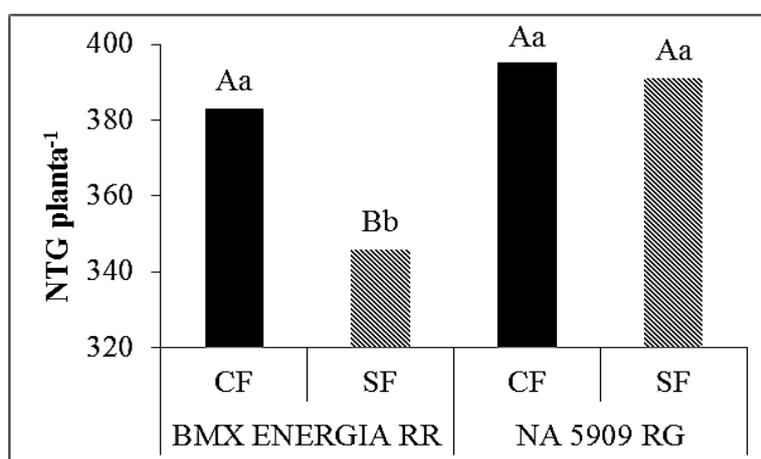
287 **Figura 7** – Efeito dos diferentes níveis de cálcio em duas cultivares de soja, com (CF) e sem  
 288 (SF) tratamento químico fungicida sobre a massa seca parte aérea (R6) e produção planta<sup>-1</sup>.  
 289 Santa Maria - RS, 2014.

290 Os resultados indicam que uma maior disponibilidade de cálcio aumentou o  
 291 crescimento da parte aérea das plantas, provavelmente devido a uma área foliar mais elevada  
 292 e tempo mais longo de vida das folhas na planta. Esse efeito sobre o crescimento vegetativo  
 293 não pode ser atribuído a maior disponibilidade de nitrogênio, porque a concentração máxima  
 294 empregada no experimento foi de 9,12 mmol L<sup>-1</sup>. Os resultados de Ramos (2014) indicaram  
 295 que o crescimento vegetativo excessivo com acamamento das plantas por efeito do nitrogênio  
 296 somente ocorreu na cultivar BMX Energia RR com concentrações desse nutriente superiores a  
 297 10,5 mmol L<sup>-1</sup>. É pouco provável que o crescimento vegetativo seja devido ao efeito do cálcio  
 298 no metabolismo da planta, pois a via apoplástica é predominante na absorção, transporte e  
 299 acumulação desse nutriente na planta (HEPLER, 2005). Entretanto, é provável que esse  
 300 nutriente exerça importante papel secundário na anatomia dos tecidos, afetando processos  
 301 determinantes do crescimento como absorção de água e de outros nutrientes, condutância

302 estomática, taxa de fotossíntese e tempo de vida da área foliar da planta. Pesquisas mais  
 303 aprofundadas são necessárias para elucidar esses efeitos.

304 Uma hipótese para explicar esses resultados é um provável efeito negativo da  
 305 concentração de cálcio na floração e/ou abortamento de vagens na cultivar BMX Energia RR  
 306 (SF). Essa hipótese encontra sustentação no número total de grãos por planta (Apêndice 6), o  
 307 qual foi inferior nesta cultivar, quando comparada com a cultivar NA 5909 RG (SF) (Figura  
 308 8), a qual apresentou um número total de grãos 13,13% superior às plantas de BMX Energia  
 309 RR (SF).

310



311 **Figura 8** - Número Total de Grãos planta<sup>-1</sup> em duas cultivares de soja, com e sem aplicação  
 312 de fungicida. Santa Maria – RS, 2014. <sup>1</sup> Letras maiúsculas mostram as diferenças entre as  
 313 cultivares e letras minúsculas as diferenças dentro de cada cultivar. Letras iguais não diferem  
 314 estatisticamente através do Teste Tukey (p < 0,05).  
 315

316 Tem sido relatado que o cálcio é um nutriente mineral com grande influência na  
 317 fertilização das flores e formação das vagens em plantas de soja (HOLDAWAY-CLARKE;  
 318 HEPLER, 2003). Em linhagens de feijão, Domingues et. al. (2014) compararam o número de  
 319 vagens e de grãos por planta nas concentrações de cálcio de 1,10 e 3,85 mmol L<sup>-1</sup> e  
 320 observaram valores mais elevados na concentração mais alta, indicando o efeito do genótipo  
 321 na resposta da planta à disponibilidade de cálcio. Em plantas de soja, resultados similares não

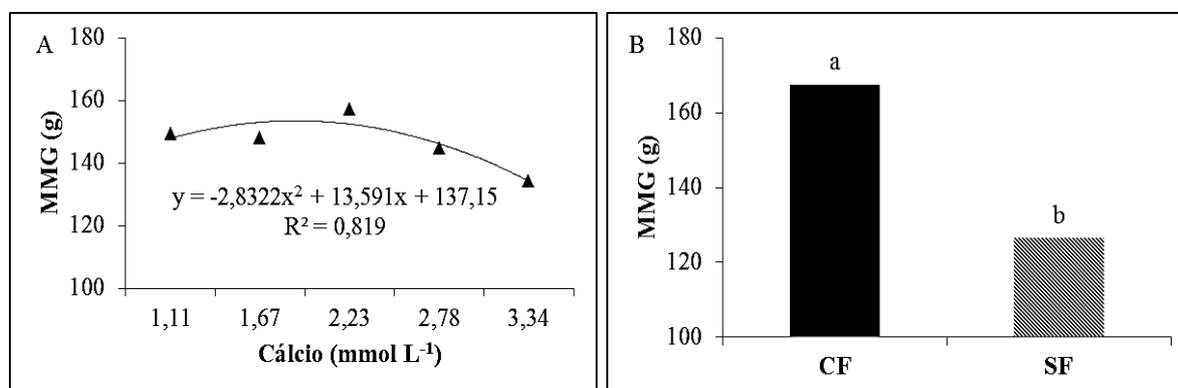
322 foram encontrados na literatura e os resultados atuais sugerem que essa característica seja  
323 considerada nos programas de melhoramento genético da soja.

324 O efeito do genótipo pode ser a causa das diferentes respostas da planta aos fungicidas  
325 empregados no controle da ferrugem asiática da soja que têm sido relatadas na literatura.  
326 Olsen (2012) avaliou diferentes fungicidas no controle da ferrugem asiática e obteve, com  
327 relação a produtividade, valores superiores nos tratamentos com aplicação do fungicida  
328 quando comparados a testemunha sem aplicação. Em trabalho conduzido por Godoy et al.,  
329 (2012) os autores ressaltaram que houve diferenças entre os fungicidas, com produtividade  
330 mais elevadas e severidades inferiores da doença com o fungicida trifloxistrobina +  
331 prothioconazol.

332 A massa de mil grãos (MMG) mostrou efeito significativo para as concentrações de  
333 cálcio (Fator A) e tratamento químico (Fator D), sem interação com as cultivares (Figura 9)  
334 (Apêndice 7). O efeito do cálcio foi quadrático, sendo que a máxima eficiência técnica foi  
335 obtida na concentração de  $2,39 \text{ mmol L}^{-1}$  (Figura 9 A). Em relação à aplicação do fungicida  
336 (Figura 9B), ficou evidente a importância da aplicação de fungicida na diminuição da  
337 severidade da doença e na preservação da área foliar das plantas a qual afeta o enchimento  
338 dos grãos, confirmando as observações de Board e Modali (2005). Resultados semelhantes  
339 foram descritos por Brzezinski et al., (2012) e Gomes (2005), com MMG mais elevada nas  
340 plantas com tratamento fungicida. Esses resultados indicam também que, embora a massa de  
341 mil grãos seja uma característica geneticamente determinada, é também influenciada pelo  
342 ambiente, conforme descrito anteriormente na literatura (NAVARRO JÚNIOR; COSTA,  
343 2002).

344 Os resultados dessa pesquisa sugerem que a resposta das plantas à nutrição de cálcio  
345 seria uma característica a ser levada em conta nos programas de melhoramento genético da  
346 soja, a fim de aliar crescimento, produção de grãos e severidade da doença. Indicam também

347 que na definição de estratégias de manejo da doença, devem ser simultaneamente  
 348 consideradas a resposta da planta à disponibilidade de cálcio e a aplicação de fungicidas.  
 349



350  
 351 **Figura 9** – Efeito de diferentes disponibilidades de cálcio sobre a massa de mil grãos (MMG)  
 352 em plantas de soja com (CF) e sem (SF) aplicação de fungicida. Santa Maria - RS, 2014.

353

### 354 Conclusões

355 \*A disponibilidade de cálcio no meio radicular afeta o crescimento da planta e a produção de  
 356 grãos da soja;

357 \* A resposta à disponibilidade de cálcio varia conforme a cultivar;

358 \* Nas condições do experimento, a nutrição com cálcio pode ser empregada como prática  
 359 auxiliar visando reduzir a severidade da ferrugem asiática, porém não substitui a aplicação de  
 360 fungicida.

## DISCUSSÃO GERAL

A soja é a *commodity* de maior impacto no agronegócio mundial. O Brasil ocupa o segundo lugar na produção do grão com cerca de 31 milhões de hectares cultivados (CONAB, 2015). A monocultura em larga escala trouxe consigo ao longo dos anos sérios problemas. Pragas e doenças anteriormente classificadas como secundárias hoje provocam sérios danos à cultura devido à facilidade de disseminação. No caso da ferrugem asiática, a ampla janela de cultivo da soja no Brasil é responsável por manter constante a pressão de inóculo e as correntes de ar favorecem a disseminação do patógeno. Por isso, têm crescido nos últimos anos o número de aplicações de fungicidas para o controle dessa doença, o qual deve ser feito a partir das fases iniciais de desenvolvimento da cultura.

O aumento do número de aplicações de fungicidas reflete-se no custo de produção e aumenta o risco da perda de sensibilidade do patógeno aos fungicidas. Esse risco é agravado pelo fato de apenas três grupos químicos de fungicidas serem empregados no controle da doença, o que impossibilita o produtor alterná-los, pois geralmente são empregados em misturas.

É necessário que medidas anti-resistência ao fungo sejam tomadas a fim de prolongar a vida útil das moléculas e retardar ao máximo esta perda de sensibilidade. Dentre estas medidas, o manejo da nutrição mineral da cultura seria uma alternativa interessante no contexto da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, a aplicação do cálcio pode ser uma alternativa viável a ser inserida no manejo anti-resistência à ferrugem asiática da soja, sendo possível reduzir o número de aplicações do produto químico nas duas cultivares. Entretanto o fornecimento de cálcio não substitui totalmente a aplicação do fungicida, principalmente para a cultivar BMX Energia RR, a qual mostrou-se mais suscetível a doença. A diferença obtida entre as cultivares na resposta ao fornecimento de cálcio indica a necessidade de os programas de melhoramento genético dessa cultura selecionarem cultivares mais responsivas ao cálcio, além dos critérios de produtividade. Dessa forma seria possível em médio prazo definir sistemas de produção mais sustentáveis do ponto de vista econômico e ambiental.

Os resultados atuais foram obtidos em condições controladas de nutrição mineral. Em condições de lavoura o fornecimento do cálcio tem sido feito pela calagem, a qual atua como fertilizante e corretivo do solo. Por isso. Outras pesquisas em condições de lavoura devem ser feitas a fim de ajustar doses e investigar possíveis interações entre o solo, a planta e o patógeno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ARTIGO

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T. *et al.*, Doenças da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Orgs.) **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 2, 4 ed., 2005. p. 569-596.

BOARD, J.E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. **Crop Scienc.** Madison, v.45, p.1790-1799, 2005.

BRZEZINSKI, C R., ABATI, J.; HENNING, F. A.; NETO, J. B. F., HENNING, A A. Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja e sua influência na produtividade e na qualidade de sementes. **Informativo Abrates**. Vol.22, nº3, 2012.

CORDEN, C.E. (1965) Influence of calcium nutrition on fusarium wilt of tomato and polygalacturonase activity. **Phytopathology**, 55:222-224.

CQFS-RS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre, 10º ed. 400 p. 2004.

CRUVINEL, A. R. et al. Utilização da área abaixo da curva de progresso da doença relativa para estudos epidemiológicos da ferrugem asiática da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., 2004, Ribeirão Preto. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.186.

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.

DOMINGUES, et al., Selection of common bean lines for calcium use efficiency. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 767-776, out-dez, 2014.

EDGINGTON, L.V. & WALKER, J.C (1958) Influence of calcium and boron nutrition on development of fusarium wilt of tomato. **Phytopathology**, 48:324-326.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report,80).

GOMES, L.L. **Controle químico de doenças foliares: efeito nas características agrônômicas de cultivares de soja**. 2005.25f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GARCIA JUNIOR, 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, p.286-291, 2003.

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, 2004.

GODOY, C.V.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.et al., **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2011/12: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos 2012**. Londrina: Embrapa Soja, 2012, 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 93). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/927852/1/CT93.2012.pdf>

HEPLER, P. K., Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development. *The Plant Cell*, Vol. 17, 2142–2155, **American Society of Plant Biologists**. August, 2005.

HOLDAWAY-CLARKE, T.L.; HEPLER, P.K. Control of pollen tube growth gradients and fluxes. **New Phytologist**, v.159, n.3, p.539-563, 2003.

HUBER, D.M. (2002) Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. In: Workshop – **Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças**. Piracicaba, Potafós, Anais e Vídeo, vídeo 01. CD-ROM.

LIMA, L. M. D., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., FONSECA, T., & CARVALHO, J. G. D. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phthopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 1, p. 51-56, 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London Academic Press, 2012. 651p.

MORALES, R. G.; SANTOS, I.; TOMAZELI, V.; RESENDE, J. T. Influência da nutrição mineral foliar nas doenças da parte aérea e no rendimento da cultura da soja. **Ambiência Guarapuava** (PR) v.7 n.2 p. 207-215. 2011.

NAVARRO JUNIOR, H. M.; COSTA, J A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2002, v. 37, n. 3, pp. 269-274.

OLSEN, D. **Fungicidas para controle da ferrugem asiática e sua influência na qualidade de sementes de soja**. 2012. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes), Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão.

PARDOSSI A. et al., Massa Fertigation and Substrate Management. In: **Closed Soilless Culture**. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa, Pisa. August 2011.

PINHEIRO, J. B., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., MOREIRA, A.S., ALVES, M.C. Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v 58, n.1, p.43-50, jan-fev, 2011.

POLIZEL, A.C., et al., Novos genótipos de soja de ampla base genética resistentes a ferrugem asiática. **Enciclopedia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.7, N.13;2011. p.793.

RAMOS, J.P. **Crescimento e produtividade da soja e progresso de ferrugem asiática em diferentes condições de disponibilidade de nitrogênio** 2013. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; SÓRIO, I. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar em soja (Glycine max (L.) Merrill)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 27 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 33). Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp33.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp33.htm)

SOARES, R. M.; RUBIN, S. A. L.; WIELEWICKI, A. P.; OZELAME, J. G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.4, p. 1245-1247, 2004.

SOARES, R.M. Ferrugem asiática da soja – impacto da entrada da praga no Brasil. In: Seminário Ameaças Fitossanitárias da soja. 2013, São Paulo. **Ameaças fitossanitárias: novas pragas colocam em risco a produção de alimentos no Brasil: Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2013.

YORINORI, J. T.; NUNES JÚNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem asiática da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle**. Londrina: EMBRAPA/CNPSO, 2004. 36p. (Documentos, n. 247).

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA**, 2., 2002, Foz do Iguaçu. Anais.Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.171-187.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. L.; GODOY, C. V.; NUNES-JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, n. 4, p. 675-677, 2005.

YOUNG, H. M., MAROIS, J. J., WRIGHT, D. L., NARVÁEZ, D. F., AND O'BRIEN, G. K. Epidemiology of soybean rust in soybean sentinel plots in Florida. **Plant Disease**. v.95, p.744-750, 2011.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J.A.; ZANÃO, L.A. **Efeito da Nutrição Mineral no Controle de Doenças de Plantas**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 1. ed. , 2012. v. 1. 135-163p.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T. *et al.*,. Doenças da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Orgs.) **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 2, 4 ed., 2005. p. 569-596.

BALARDIN, R. S. **Doenças da soja**. Santa Maria: Ed Autor, 2002, 100 p.

CASTRO,P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008, 864 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, quarto levantamento, janeiro 2015** / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2015.

COSTAMILAN, L. M., P. F. BERTAGNOLLI, E J. T. YORINORI. 2002. Perda de rendimento de grãos de soja causada por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira** 27 (Suplemento): S100 (Resumo).

DATNOFF L.E.; ELMER, W, HUBER, D.M. **Mineral nutrition and plant disease**. St Paul, Minn : APS Press, 2007.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2004**. Londrina: Embrapa Soja, 2003.237 p. (Sistemas de Produção).

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2ª ed. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 2006, 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FEHR, W.R.; CAVINESS,C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report,80).

HUBER ,D.M. (2002) Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. In: Workshop – **Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças**. Piracicaba, Potafós, Anais e Vídeo, vídeo 01. CD-ROM.

JULIATTI, F. C.A.; JULIATTI, F. C.; HABE, M.; POLIZEL, C. A., Controle químico da ferrugem asiática da soja causada por diferentes fungicidas em misturas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 29 n. 1, p. 110-111, 2004.

KOCH, E.;EBRAHIM-NESBAT,F.B.&HOPPE,H.H. Light and electronmicroscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in susceptible soybean leaves. **Phytopath.Z.** 106-302-320. 1983.

LOPES, J. C. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 01, p. 51-58, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Sao Paulo. Ceres. 2006. 638 p.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. [Brasília, DF]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014. Disponível em [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 06 set. 2014.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London Academic Press, 2012. 651p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001.849p.

MORALES, J. E. **Fertilización foliar orgánica y fuentes de nitrógeno en cebolla para inducir resistencia a *Sclerotium cepivorum* Berk.** Instituto de Enseñanza e Investigacion en Ciencias Agrícolas. Dissertação de Mestrado, 2007.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

REIS, E. M., R. T. CASA, E C. MICHEL. 2002. **Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002**. *Fitopatologia Brasileira* 27 (Suplemento): S198 (Resumo).

REIS, E.M.; BRESOLIN, A.C.R. Ferrugem da Soja: revisão e aspectos técnicos. In: **Doenças na Cultura da Soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2004. 178p

REIS, E. M., A. C. R. BRESOLIN, E M. CARMONA. 2006. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

REIS, E.M.; REIS, A.C.; CARMONA, M., DANELLI,A.L.D.; Ferrugem Asiática In: REIS,E.M.;CASA,R.T. **Doenças da soja- Etiologia, sintomatologia, diagnose e manejo integrado**- Passo Fundo: Berthier, 2012. 436p.

SANTOS, T.L. SOJA In: Castro, P.R.C., Kluge, R.A., Sestari, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864p.

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.

SEDIYAMA, T. (Org.). Tecnologias de produção e usos da soja. 1. ed. Londrina, PR: Mecenas, 2009, v. 1. 314 p. RAHMAN, M; PUNJA, Z. K. Calcium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Minnessota U.S.A: APS Press, 2007. p. 79-93.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E.; POSSA, A. A.; MOREIRA, A.; ALVES, M. **Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva**. Revista Ceres, Viçosa, v. 58, n.1, p. 43-50, 2011.

PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R.; SOUZA, H.A. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCAV/Capes/Fundunesp, 2008. 301p.

USDA, Unied States Department of Agriculture. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/> Acesso em: 2 de setembro de 2014.

YERMIYAHU, U.; SHAMAI, I.; PELEG, R.; DUDAI, N.; SHTIENBERG, D. **Reduction of Botrytis cinerea sporulation in sweet basil by altering the concentrations of nitrogen and calcium in the irrigation solution**. Plant Pathology, 55, 544–552, 2006.

YORINORI, J.T. PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F.; HARTMAN, G.E.; GODOY, C.V.; NUNES Jr, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, n. 6, p.675-677, 2005.

YORINORI, J. T., W. M. Paiva, R. D. Frederick, and P. F. T. Fernandez. 2002b. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2001/01 e 2001/02.** Anais Congresso Brasileiro de Soja 2002:94 (Resumo).

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J.A.; ZANÃO, L.A. **Efeito da Nutrição Mineral no Controle de Doenças de Plantas.** Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa. 1. ed. , 2012. v. 1. 135-163p.

**ANEXOS**

**ANEXO 1** - Escala fenológica de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977).

<b>Estádios</b>	<b>Denominação</b>	<b>Descrição</b>
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo.
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos.
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas.
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V...		
V(n)	Enésimo nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida.
R1	Início do Florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal).
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida.
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento em um dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida.
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento em um dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida.
R5	Início do enchimento do grão	Grão com 3 mm de comprimento em vagem em um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.
R6	Grão cheio ou completo	Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura.
R8	Maturação Plena	95% das vagens com coloração de madura.

## **APÊNDICES**

**Apêndice 1 - Análise de variância (ANOVA) da variável massa seca de parte aérea (Vn/R1).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	48.335.894	12.083.973	3.119	0.0447
<b>A</b>	4	183.622.104	45.905.526	11.849	0.0001*
<b>erro 1</b>	16	61.987.056	3.874.191		
<b>C</b>	1	234.886.276	234.886.276	86.256	0.0000*
<b>A*C</b>	4	28.874.624	7.218.656	2.651	0.0634
<b>erro 2</b>	20	54.462.750	2.723.137		
<b>D</b>	1	16.744.464	16.744.464	2.046	0.1604
<b>A*D</b>	4	34.880.456	8.720.114	1.065	0.3862
<b>C*D</b>	1	2.039.184	2.039.184	0.249	0.6204
<b>A*C*D</b>	4	22.723.416	5.680.854	0.694	0.6005
<b>erro 3</b>	40	327.374.580	8.184.365		
<b>Total corrigido</b>	99	1.015.930.804			
<b>CV 1 (%) = 10,36</b>		<b>CV 2 (%) = 8,68</b>		<b>CV 3 (%) = 15,06</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 2 - Análise de variância (ANOVA) da variável Área abaixo da curva de progresso da ferrugem (AACPF).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	1.346.241.850	336.560.463	5.081	0.0078
<b>A</b>	4	15.450.131.350	3.862.532.837	58.309	0.0000
<b>erro 1</b>	16	1.059.884.962	66.242.810		
<b>C</b>	1	2.519.538.025	2.519.538.025	16.694	0.0006
<b>A*C</b>	4	3.125.013.850	781.253.462	5.176	0.0050*
<b>erro 2</b>	20	3.018.504.063	150.925.203		
<b>D</b>	1	793.684.992.100	793.684.992.100	6.768.843	0.0000
<b>A*D</b>	4	19.547.756.150	4.886.939.037	41.678	0.0000*
<b>C*D</b>	1	1.346.890.000	1.346.890.000	11.487	0.0016*
<b>A*C*D</b>	4	932.944.250	233.236.063	1.989	0.1147
<b>erro 3</b>	40	4.690.225.625	117.255.641		
<b>Total corrigido</b>	99	846.722.122.225			
<b>CV 1 (%) = 7,91</b>		<b>CV 2 (%) = 11,94</b>		<b>CV 3 (%) = 10,52</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 3 - Análise de Variância (ANOVA) para a variável teor de cálcio nas folhas (g kg<sup>-1</sup>).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	14.967.857	3.741.964	0.735	0.5873
<b>A</b>	4	78.866.667	19.716.667	3.871	0.0336*
<b>erro 1</b>	11	56.032.143	5.093.831		
<b>C</b>	1	17.633.333	17.633.333	1.903	0.2263
<b>A*C</b>	4	31.533.333	7.883.333	0.851	0.5496
<b>erro 2</b>	5	46.333.333	9.266.667		
<b>Total corrigido</b>	29	245.366.667			
<b>CV 1 (%) = 15,49</b>			<b>CV 2 (%) = 20,90</b>		

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 4 - Análise de variância (ANOVA) da variável massa seca de parte aérea (R6).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	154.622.474	38.655.618	0.581	0.6804
<b>A</b>	4	387.213.694	96.803.423	1.456	0.2616
<b>erro 1</b>	16	1.063.612.826	66.475.802		
<b>C</b>	1	49.674.304	49.674.304	0.844	0.3691
<b>A*C</b>	4	674.124.426	168.531.106	2.865	0.0501
<b>erro 2</b>	20	1.176.503.620	58.825.181		
<b>D</b>	1	2.797.140.544	2.797.140.544	42.731	0.0000
<b>A*D</b>	4	2.815.939.986	703.984.996	10.755	0.0000
<b>C*D</b>	1	70.862.724	70.862.724	1.083	0.3044
<b>A*C*D</b>	4	992.713.406	248.178.351	3.791	0.0105*
<b>erro 3</b>	40	2.618.347.440	65.458.686		
<b>Total corrigido</b>	99	12800.755444			
<b>CV 1 (%) = 6,71</b>		<b>CV 2 (%) = 6,31</b>		<b>CV 3 (%) = 6,65</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 5 - Análise de variância (ANOVA) da variável produção de grãos (g planta<sup>-1</sup>).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	259.466.600	64.866.650	1.268	0.3233
<b>A</b>	4	336.825.100	84.206.275	1.646	0.2115
<b>erro 1</b>	16	818.650.400	51.165.650		
<b>C</b>	1	48.790.225	48.790.225	0.600	0.4476
<b>A*C</b>	4	462.463.900	115.615.975	1.422	0.2631
<b>erro 2</b>	20	1.626.134.000	81.306.700		
<b>D</b>	1	7.820.749.225	7.820.749.225	155.364	0.0000
<b>A*D</b>	4	529.737.900	132.434.475	2.631	0.0484
<b>C*D</b>	1	12.709.225	12.709.225	0.252	0.6181
<b>A*C*D</b>	4	933.961.900	233.490.475	4.638	0.0036*
<b>erro 3</b>	40	2.013.523.000	50.338.075		
<b>Total corrigido</b>	99	14.863.011.475			
<b>CV 1 (%) = 13,73</b>		<b>CV 2 (%) = 17,30</b>		<b>CV 3 (%) = 13,62</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 6 - Análise de variância (ANOVA) para variável número total de grãos planta<sup>-1</sup>.**

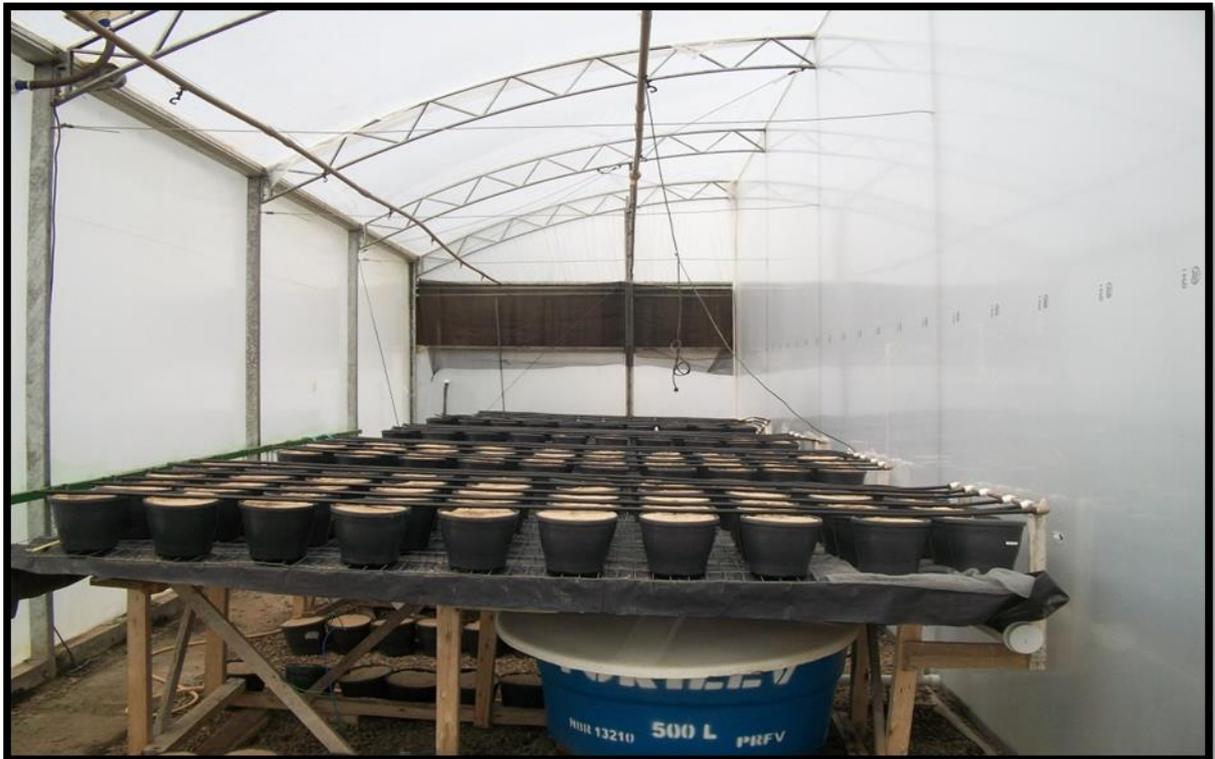
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	9.869.060.000	2.467.265.000	1.296	0.3131
<b>A</b>	4	14.745.660.000	3.686.415.000	1.937	0.1533
<b>erro 1</b>	16	30.454.240.000	1.903.390.000		
<b>C</b>	1	20.707.210.000	20.707.210.000	7.516	0.0126
<b>A*C</b>	4	22.638.340.000	5.659.585.000	2.054	0.1252
<b>erro 2</b>	20	55.104.700.000	2.755.235.000		
<b>D</b>	1	10.629.610.000	10.629.610.000	7.179	0.0107
<b>A*D</b>	4	2.993.540.000	748.385.000	0.505	0.7319
<b>C*D</b>	1	6.905.610.000	6.905.610.000	4.664	0.0369*
<b>A*C*D</b>	4	5.193.340.000	1.298.335.000	0.877	0.4864
<b>erro 3</b>	40	59.228.400.000	1.480.710.000		
<b>Total corrigido</b>	99	238.469.710.000			
<b>CV 1 (%) = 11,52</b>		<b>CV 2 (%) = 13,86</b>		<b>CV 3 (%) = 10,16</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 7 - Análise de variância (ANOVA) da variável massa de mil grãos.**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>B</b>	4	6.881.837.074	1.720.459.269	5.779	0.0045
<b>A</b>	4	5.568.953.854	1.392.238.463	4.677	0.0108*
<b>erro 1</b>	16	4.763.114.756	297.694.672		
<b>C</b>	1	1.870.649.001	1.870.649.001	2.220	0.1519
<b>A*C</b>	4	2.783.755.814	695.938.953	0.826	0.5242
<b>erro 2</b>	20	16.853.987.210	842.699.360		
<b>D</b>	1	42.630.273.841	42.630.273.841	64.262	0.0000*
<b>A*D</b>	4	4.581.664.574	1.145.416.143	1.727	0.1631
<b>C*D</b>	1	13.535.041	13.535.041	0.020	0.8871
<b>A*C*D</b>	4	1.579.699.614	394.924.903	0.595	0.6681
<b>erro 3</b>	40	26.535.485.480	663.387.137		
<b>Total corrigido</b>	99	114.062.956.259			
<b>CV 1 (%) = 11,76</b>		<b>CV 2 (%) = 19,78</b>		<b>CV 3 (%) = 17,55</b>	

FV= Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrado Médio; \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; B=Blocos; A= Doses de cálcio; C= cultivares; D= Tratamento químico; CV= coeficiente de variação em %.

**Apêndice 8 - Vista geral do experimento. Itaara - RS, 2014.**

**Apêndice 9** - Equipamento para verificação da condutividade elétrica da solução nutritiva.



**Apêndice 10** - Equipamento para verificação do pH da solução nutritiva.



**Apêndice 11** - Plantas de soja aos 7 DAE. Itaara – RS, 2014.



**Apêndice 12** - Plantas de soja aos 14 DAE. Itaara - RS, 2014.



**Apêndice 13** - Plantas de soja aos 21 DAE. Itaara - RS, 2014.



**Apêndice 14** - Momento da inoculação das plantas de soja. Itaara – RS, 2014.



**Apêndice 15** - Aplicação do Tratamento químico fungicida. Itaara – RS, 2014.



**Apêndice 16** - Pústulas de *Phakopsora pachyrhizi* em folha de soja. Itaara – RS, 2014.

