

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DANIELLE MATTEI

Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* em  
diferentes espécies vegetais

Maringá  
2015

DANIELLE MATTEI

Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* em  
diferentes espécies vegetais

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia do Departamento de  
Agronomia, Centro de Ciências Agrárias  
da Universidade Estadual de  
Maringá, como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em  
Agronomia

Área de concentração: Proteção  
de Plantas

Orientador: Prof.a. Dra. Claudia  
Regina Dias Arieira

Maringá  
2015

# FOLHA DE APROVAÇÃO

DANIELLE MATTEI

Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* em diferentes espécies vegetais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

## COMISSÃO JULGADORA

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia Regina Dias Arieira  
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Antonio Nolla  
Universidade Estadual de Maringá

Dr.<sup>a</sup> Andressa Cristina Zamboni Machado  
Instituto Agronômico do Paraná

Aprovada em: 24 de fevereiro de 2015.

Local de defesa: anfiteatro II, bloco J45, Universidade Estadual de Maringá.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Nelsi Maria Soder Mattei e Jalmir Luiz Mattei e a minha irmã Dariane Mattei por estarem sempre ao meu lado, me apoiarem e incentivarem na busca de meus objetivos, assim como a minha avó, Esterina Lumi Mattei, que não está mais entre nós, mas que será sempre lembrada.

## AGRADECIMENTOS

Há apenas duas palavras que tenho a dizer a todos que me apoiaram até aqui: Muito Obrigada...

Deus, obrigada pela vida, pela força, pelas oportunidades, pelas conquistas e pelas derrotas, pois foi assim que aprendi e sou hoje quem sou.

Aos meus avós paternos, Esterina Lumi Mattei e Irno Mattei, pelo amor e carinho, pelos mimos e conselhos, estes levarei por toda vida.

Ao meu Pai e minha Mãe, Jalmir Luiz Mattei e Nelsi Maria Soder Mattei, a vocês eu devo o maior de todos os agradecimentos, pois são meus maiores exemplos. A vossa dedicação, a sabedoria e a força de vontade são aquilo em que me espelho, o apoio e o amor incondicional são aquilo em que me conforto.

A minha irmã, Dariane Mattei, por sempre estar por perto, por me apoiar e aconselhar, por não ser apenas minha irmã, como também minha melhor amiga.

A todos aqueles que contribuíram para meu conhecimento, em especial aos meus professores, pelo exemplo que são, devido à grande dedicação.

Aos amigos que me ajudaram e que estiveram presentes, sejam nas horas boas, de festa, sejam nas horas de aflição, não tenho como listar um por um, afinal cada um teve papel único e serei eternamente grata por Deus tê-los colocado em meu caminho.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização deste curso, e ao Campus Regional de Umuarama, que disponibilizou suas instalações, para desenvolvimento do trabalho.

À Professora Claudia Regina Dias Arieira, pela orientação, conselhos, paciência e compreensão. Por ser também um grande exemplo, devido ao seu grande entusiasmo, o que fez com que me encantasse e me direcionasse à pesquisa e à nematologia.

Aos professores Tiago Roque Benetoli da Silva e Juliana Parisotto Poletini, pela disponibilidade em me auxiliar com as análises estatísticas.

À Dr<sup>a</sup> Andressa Cristina Zamboni Machado, pelo apoio e disponibilidade em auxiliar sempre que necessário.

À Professora Dra. Kátia Regina Freitas Schwan Estrada pela disponibilização do laboratório e à Juliana Oliveira e à Mariana Nasser Saab pelo auxílio e ensinamentos na realização da análise de fitoalexinas.

Ao Professor Antonio Nolla pelas colocações e correções relacionadas ao presente trabalho.

Aos meus colegas do Laboratório de Fitopatologia do Campus Regional de Umuarama, pela boa convivência, em especial à “Aninha” e à Angélica, que me auxiliaram na montagem das lâminas.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa.

## Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* em diferentes espécies vegetais

### RESUMO

Atualmente, buscam-se alternativas seguras para controlar pragas e doenças na agricultura, portanto produtos com menor toxidez ganham destaque. Nesse contexto, a utilização de produtos, bióticos ou abióticos, visando o aumento de resistência das plantas às doenças, tem sido foco de inúmeras pesquisas, incluindo o uso de silício (Si) para o controle de nematoses. Assim, objetivou-se avaliar três diferentes fontes de Si (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> e volastonita) na penetração, desenvolvimento e fator de reprodução (FR) de *Meloidogyne javanica*, no milho, arroz, feijão e soja, e na produção de fitoalexinas em sorgo e feijão. As plântulas das referidas culturas foram transplantadas e tratadas com as soluções de Silifort<sup>®</sup> e Rocksil<sup>®</sup>. A volastonita foi aplicada ao solo 10 dias antes do transplante, procedendo o encharcamento diário do solo até o transplante. A inoculação foi realizada dez dias após o transplante, com 1000 ovos e eventuais juvenis (J2) de *M. javanica*. Plantas foram amostradas aos 3, 8, 13 e 18 dias para avaliação quanto ao número de espécimes e estágio de desenvolvimento g<sup>-1</sup> de raiz. O FR foi avaliado nas referidas culturas e no sorgo, 60 dias após a inoculação (DAI), quando se avaliou ainda a altura, massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR), nematoide por planta e nematoide g<sup>-1</sup> de raiz. Este experimento foi repetido em duas épocas (experimentos 1 e 2). A avaliação da produção de fitoalexinas em feijão e sorgo foi realizada utilizando-se os tratamentos com Si e água como controle. Os resultados mostraram que as três fontes de silício desfavoreceram o desenvolvimento de *M. javanica* em soja, feijão e arroz, e reduziram a penetração em arroz; Silifort<sup>®</sup> e volastonita afetaram a penetração em feijão e soja, respectivamente. Nenhum tratamento promoveu aumento de altura, MSPA e MFR. Todos os produtos promoveram redução no número de *M. javanica* por grama de raiz em soja, contudo não foram eficientes no manejo de nematoides nas demais culturas (arroz, feijão, milho e sorgo), nem favoreceram a produção de fitoalexinas em feijão e sorgo. Apesar disso, pode-se observar o potencial das diferentes fontes para o manejo de nematoides, visto a influência sobre a penetração e desenvolvimento de *M. javanica*.

**Palavras-chave:** Indutores de resistência. Nematóide das galhas. Resistência. Silicato.

## Silicon sources for *Meloidogyne javanica* control in different plant species

### ABSTRACT

Currently safer alternatives for controlling pests and diseases in agriculture and products with lower toxicity have been prioritized, for example the use of products, biotic or abiotic, in order to increase the resistance of plants to disease has been the focus of numerous studies, including the use of silicon (Si) to control nematodes. Therefore, the study evaluated three different sources of Si (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> and wollastonite) on penetration, development and reproduction factor (RF) of *Meloidogyne javanica*, maize and rice, accumulators, and beans and soybeans, not accumulators of Si, and the production of phytoalexins in sorghum and beans. The seedlings were transplanted and treated with the solutions Silifort<sup>®</sup> and Rocksil<sup>®</sup>. The wollastonite was applied to the soil 10 days before the transplanting, and the soil was drenched until the transplant. The inoculation was performed ten days after the transplant, with 1000 eggs and eventual juveniles (J2) of *M. javanica*. Plant samples were evaluated at 3, 8, 13 and 18 days to determine the number of specimens and stage of g<sup>-1</sup> root. The RF was evaluated in these cultures and sorghum, 60 days after of inoculation (DAI), when it also evaluated the height, top dry matter (TDM), fresh root matter (FRM), nematodes per plant, nematode.g<sup>-1</sup> root. This experiment was repeated in two periods (experiments 1 and 2). The evaluation of the production of phytoalexins in beans and sorghum, was conducted using the treatments with Si and water as control. Initially the wollastonite favored the penetration and development of *M. javanica* on rice and beans, while in soybeans all treatments reduced the development, but only Silifort<sup>®</sup> reduced the penetration. Thirteen DAI, the wollastonite favored the development and penetration. Eighteen DAI, rice, beans and soybeans had less development of *M. javanica* when treated with Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> and wollastonite. All sources of Si reduced penetration of rice, but only Silifort<sup>®</sup> and wollastonite affected penetration in bean and soybean, respectively. The maize did not provide answers to the use of Si.

**Keywords:** Resistance inducers. Root-knot nematode. Resistance. Silicate.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Valores de F da análise de variância de produto, cultura e interação desses fatores para as variáveis: massa fresca de raiz (MFR); número de J2, J3/J4, fêmeas e total de nematoides $g^{-1}$  de raiz, nas avaliações realizadas aos três, oito, 13 e 18 dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*..... 36
- Tabela 2 Desdobramento da interação dos produtos dentro das culturas para a variável massa fresca de raiz (g) aos três e dezoito dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*..... 37
- Tabela 3 Desdobramento da interação entre produtos e culturas para o número J2, J3/J4 e total de nematoides $g^{-1}$  de raiz, aos oito dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*..... 38
- Tabela 4 Efeito dos diferentes produtos à base de silício (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> e Volastonita) no número de J2, J3/J4 e total de nematoides $g^{-1}$  de raiz, na avaliação aos treze dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*..... 38
- Tabela 5 Número de juvenis de segundo estágio (J2), de terceiro ou quarto estágio (J3/J4) e total de nematoides $g^{-1}$  de raiz, nas diferentes culturas avaliadas aos 13 dias após a inoculação com 1000 ovos de *M. javanica*..... 39
- Tabela 6 Desdobramento da interação dos produtos dentro das culturas para o número de juvenis de segundo estádios (J2), terceiro ou quarto estádios (J3/J4), fêmeas e total de nematoides $g^{-1}$  de raiz, aos 18 dias após a inoculação com 1000 ovos de *M. javanica*..... 39
- Tabela 7 Valores de F da análise de variância de produto, cultura e interação desses fatores para as variáveis: altura de planta (Altura), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR), número de nematoides por planta (NP) e por grama de raiz (NGR) e fator de reprodução, 60 dias após a inoculação com 2000 ovos de *M. javanica* nos experimentos 1 e 2..... 60
- Tabela 8 Desdobramento da interação entre produtos e culturas para massa fresca de raiz e massa seca de parte aérea nos experimentos 1 e 2 e da variável altura de plantas no experimento 1..... 61
- Tabela 9 Desdobramento da interação entre produtos e culturas para o número de nematoides por planta no experimento 2, número de nematoides por grama

de raiz no experimento 1 e 2 e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica*  
no experimento 2..... 62

Tabela 10 Análise da produção de fitoalexinas em feijão e sorgo em função da aplicação  
de diferentes produtos à base de silício (Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e  
volastonita)..... 63

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 Os nematoides das galhas na agricultura .....	4
2.2 Práticas adotadas para o controle de nematoides .....	6
2.3 Indutores de resistência .....	7
2.4 Silício na indução de resistência .....	11
3 REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO 1 - Influência de Rocksil <sup>®</sup> , Silifort <sup>®</sup> e volastonita na penetração e desenvolvimento de juvenis de <i>Meloidogyne javanica</i> em poáceas e fabáceas.....	29
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3 RESULTADOS.....	36
4 DISCUSSÃO.....	41
5 CONCLUSÕES.....	45
6 REFERÊNCIAS.....	46
CAPÍTULO 2 - Diferentes fontes de silício para o controle de <i>Meloidogyne javanica</i> e produção de fitoalexinas em poáceas e fabáceas.....	51
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
1 INTRODUÇÃO.....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1. Fontes de silício na reprodução do nematoide.....	56
2.2. Bioensaios para produção de fitoalexinas.....	57
3 RESULTADOS.....	60
3.1. Fontes de silício na reprodução do nematoide.....	60
3.2 Bioensaios para produção de fitoalexinas.....	63
4 DISCUSSÃO.....	64
5 CONCLUSÕES.....	67
6 REFERÊNCIAS.....	68
CONCLUSÕES.....	74

## 1 INTRODUÇÃO

As doenças são responsáveis por prejuízos de aproximadamente 14,1% da produtividade agrícola mundial (AGRIOS, 2005). Dentre essas, as nematoses destacam-se devido ao potencial de causar danos econômicos, apresentando importância agrícola crescente, sendo os nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi considerados os mais prejudiciais. Estes são parasitas obrigatórios altamente especializados, polípagos, de grande importância econômica e com distribuição mundial (MOENS et al., 2009). Tais patógenos penetram, se desenvolvem e reproduzem no sistema radicular, promovendo a formação de células gigantes para a alimentação, além da divisão e aumento no tamanho das células do córtex, resultando na formação de nodosidades nas raízes (HUNT et al., 2005), sendo por isso popularmente conhecidos como nematoides das galhas.

Apesar da possibilidade de aplicação de nematicidas, a qual é feita principalmente no solo, o alto custo, os problemas de contaminação ambiental e a toxicidade ao homem, além de, no geral, possuírem baixa eficiência de controle e potencial para selecionar genótipos de patógenos resistentes (GHINI e KIMATI, 2000; FILETI et al., 2011), tornam essa prática pouco atrativa. Soma-se a isto, o número ainda limitado de registros para aplicação nas principais culturas de interesse econômico, como exemplo, o estado do Paraná, no qual existiam apenas dez produtos comerciais registrados no como nematicidas de uso variado até o ano de 2012 (ADAPAR, 2012). Dois desses são produtos à base de brometo de metila, liberados somente para uso em tratamentos fitossanitários e quarentenários de embalagens utilizadas em processos de importação e exportação, visando evitar a circulação, seja de entrada ou saída de pragas, no país, a qual a princípio será permitida até o fim de 2015 (REMADE, 2007).

O uso de cultivares resistentes a nematoides é uma alternativa econômica e ambientalmente correta (BOERMA e HUSSEY, 1992; SILVA, 2001). Apesar disso, a expressão do fenótipo resistente pode ser afetado pelo calor, comunidades poliespecíficas e variabilidade de raça ou patótipo (SILVA, 2001). A particularidade de cada gene em conferir resistência a uma única espécie ou a uma população de determinada espécie é outro ponto importante (WILLIAMSON e ROBERTS, 2009), além da escassez de fontes de resistência.

Desse modo, faz-se necessário a busca por estratégias de manejo alternativo. Geralmente, o manejo integrado é mais eficaz (DIAS-ARIEIRA e CHIAMOLERA, 2011) e objetiva aceitar que o patógeno faz parte do sistema agrícola, devendo ser

manejado de forma racional e contínua, mantendo os danos abaixo do limiar de dano econômico (BERGAMIM-FILHO e AMORIM, 2011). Neste sistema, podem ser utilizados adubos verdes (INOMOTO et al., 2006), rotação de culturas (SOUZA e PIRES, 2007; MOURA et al., 2008), adição de matéria orgânica (INOMOTO et al., 2006; SILVA et al., 2006), dentre outras práticas. Apesar dos resultados obtidos com estas estratégias, a rotação de culturas e uso de adubos verdes nem sempre são bem aceitos pelos produtores, por não garantirem retorno econômico, tornando essencial a adoção de outras práticas.

Entre as práticas alternativas de controle, o uso de indutores de resistência tem sido cada vez mais pesquisado, certamente pelos resultados promissores alcançados (HAMMOND-KOSACK e PARKER, 2003; DIAS-ARIEIRA et al., 2013; PUERARI et al., 2013). Comumente tais produtos possuem toxicidade baixa ou nula (CAETANO, 2011) e atuam na planta promovendo a ativação de diversos mecanismos de resistência, não possuindo ação direta sobre os patógenos (MÉTRAUX, 2001). A indução de resistência pode ser expressa na forma de resistência localizada ou sistêmica, atuando em mecanismos bioquímicos e genes da planta induzida (MÉTRAUX, 2001; GUZZO, 2004).

A atividade dos indutores de resistência contra nematoides é resultado da paralisação do desenvolvimento de células nutridoras ou ainda de uma reação de hipersensibilidade, na qual pode ser observada a necrose no sítio de alimentação alguns dias depois da infecção (BAKKER et al., 2006).

Para redução da ocorrência de nematoses, vários indutores vem sendo estudados. Dentre estes destacam-se o metil-jasmonato, silicato de potássio (GUIMARÃES et al., 2010), acibenzolar-S-metil (ASM) (SILVA et al., 2004a; PUERARI et al., 2013), alguns promotores e reguladores de crescimento, como rizobactérias (TUZUN e KLOEPPER, 1995; WEI et al., 1996; SIDDIQUI e SHAUKAT, 2004), Stimulate<sup>®</sup> e fosfito de potássio (DIAS-ARIEIRA et al., 2012). Alguns outros produtos como organo-minerais (CHAVES et al., 2009), óleos essenciais (MATTEI et al., 2013), extratos de plantas (MAZARO et al., 2008), além de alguns minerais, como o silício, também vem sendo estudados (DUTRA et al., 2004; GUIMARÃES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2012).

O silício é considerado agronomicamente benéfico às plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2005) por favorecer o aumento da resistência a condições de estresses bióticos e abióticos em diversas culturas (ZANÃO JUNIOR et al., 2010). Ainda tem-se que sua aplicação antes do plantio pode reduzir as aplicações de fungicidas (DATNOFF et al., 2001), sendo citado por Fawe et al. (1998) como nutriente indutor de resistência. Apesar

disso, o processo pelo qual o silício favorece a resistência das plantas não foi elucidado, sendo possível que seja decorrente da formação de uma barreira física, tanto pela sua deposição nas paredes celulares, quanto pela deposição de sílica na superfície foliar (BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002; TERRY e JOYCE, 2004), ou ainda devido ao favorecimento da produção de compostos fenólicos, fitoalexinas e ativação de genes de proteínas relacionadas à patogênese (proteínas PR) (CHÉRIF et al., 1994; RODRIGUES et al., 2003; 2004; 2005).

Uma das formas de aplicação de silicato é em parte aérea, pela aplicação de produtos como o silicato de potássio (SALGADO et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2010), a outra é pelo solo, atuando, nesse caso, como um corretivo de solo, elevando o pH do mesmo (ALCARDE, 2005). Nessa situação, também ocorre a disponibilização do silício no solo. Este, por sua vez, pode ser absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) (FAQUIN, 2005).

A resposta de plantas de diferentes famílias à aplicação de silício é variável, dependendo do fato de serem ou não espécies acumuladoras (OLIVEIRA, 2009). A capacidade de absorção e acúmulo de silício, de acordo com os percentuais de  $SiO_2$  na matéria seca das plantas, é usada para a classificação das mesmas como acumuladoras (gramíneas como o arroz, com 10 a 15 dag  $kg^{-1}$  de  $SiO_2$ ), intermediárias (cereais e algumas dicotiledôneas, com 1 a 5 dag  $kg^{-1}$ ) ou não acumuladoras (dicotiledôneas, a maioria delas, com teores menores que 0,5 dag  $kg^{-1}$ ) (MARSCHNER, 1995).

Perante o exposto, elucidam-se os objetivos do trabalho, que foram: a) estudar a aplicabilidade de silício em poáceas (arroz e milho) e fabáceas (feijão e soja), visando o manejo de *Meloidogyne javanica*; b) avaliar a influência de silício sobre penetração, desenvolvimento e reprodução do nematoide e; c) investigar a produção de fitoalexinas em feijão e sorgo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 OS NEMATÓIDES DAS GALHAS NA AGRICULTURA

Os nematóides das galhas são parasitas de grande importância mundial, pertencentes ao filo Nematoda Potts, classe Chromadorea Inglis, família Meloidogynidae Skarbilovich e gênero *Meloidogyne* Goeldi, caracterizados como endoparasitas sedentários, distribuídos mundialmente (DECRAEMER e HUNT, 2006), com mais de 100 espécies descritas (PEREIRA-DIAS et al., 2010).

A maior parte do ciclo de vida destes organismos ocorre no interior das raízes da planta onde o parasitismo inicia com a penetração do juvenil de segundo estágio (J2) nas zonas de alongação, migrando intercelularmente pelo córtex até o tecido pró-cambial, no qual estabelece o sítio de alimentação, com formação das células gigantes, multinucleadas, resultantes de cariocinese sem citocinese (WIGGERS et al., 1990; WILLIANSO e HUSSEY, 1996). Embora existam muitas suposições do modo como moléculas produzidas pelos nematóides ou induzidas por eles podem afetar o metabolismo da planta, os mecanismos de parasitismo desses microrganismos permanecem desconhecidos (GHEYSEN e JONES, 2006).

Os nematóides do gênero *Meloidogyne* spp. são prejudiciais a diversas culturas, possuindo alto grau de polifagia, de forma que a ampla distribuição torna *Meloidogyne javanica* (Treb) Chitwood uma das espécies de grande importância (FERRAZ e MONTEIRO, 2011), sendo considerado o patógeno de maior importância para a agricultura em muitos países (SASSER, 1980). Estima-se que o prejuízo na maioria das olerícolas varia de 1 a 10% (KOENNING et al., 1999), podendo chegar a 100% da produção de alface, dependendo da intensidade de infestação e da cultivar utilizada (CHARCHAR, 2005). Em café, os fitonematóides são capazes de reduzir a produção em até 30% (LORDELLO et al., 1990). Outra cultura perene prejudicada devido à meloidoginose é a cana-de-açúcar, cujas perdas podem ser de 30% no primeiro corte (ROSSETO e SANTIAGO, 2014), enquanto em experimento em vasos há relato de que a produção de plantas inoculadas é de 49 a 67% menor que aquela observada em não inoculadas (CORDEIRO e SANTOS, 2010). Em solos arenosos e temperaturas elevadas, os prejuízos ocasionados por nematóides das galhas em cana-de-açúcar costumam ser maiores (PEDROSA et al., 2000) e, em casos de variedades muito suscetíveis e níveis

populacionais muito altos, as perdas podem chegar a 50% da produtividade, somente na cana-planta (DINARDO-MIRANDA, 2005).

Na sojicultura, os danos causados por *Meloidogyne* spp. tem gerado grande preocupação, tanto para os pesquisadores quanto para os produtores, por destacar-se entre os principais fatores limitantes da produtividade, aliado ao fato da contínua multiplicação nos sistemas de cultivo envolvendo a sucessão soja - milho (DIAS et al., 2007; DIAS et al., 2010). As perdas econômicas devido à ocorrência de *Meloidogyne* spp. nas lavouras na safra 1999/2000 no Brasil, foram estimadas em mais de 52,2 milhões de dólares (YORINORI, 2000). Segundo Inomoto et al. (2010), as perdas em soja giram em torno de 10 a 40% da produção em solos arenosos a médio-arenosos. Destes, *M. javanica* é citado como o mais agressivo e disseminado nas lavouras de soja do país, enquanto *M. incognita* (Kofoid e White) Chitwood predomina nas lavouras instaladas em áreas antes ocupadas por café ou algodão (EMBRAPA, 1996; DIAS et al., 2010). Existem dados que apontam redução de produtividade da soja de 10 a 18% devido à ocorrência de *M. javanica* (LORDELLO, 1981; ANTONIO e OLIVEIRA, 1989), sendo esta atribuída à senescência prematura das plantas de soja parasitadas (ASMUS, 2001).

Na cultura do feijão, os nematoides das galhas também ocorrem com frequência, sendo uma das principais causas de baixa produtividade, no qual *M. incognita* e *M. javanica* são as espécies mais importantes (FREIRE e FERRAZ, 1977). A produção desta cultura é considerada inversamente proporcional ao nível populacional de *M. incognita* (DUTRA e CAMPOS, 2003) e, segundo Machado et al. (2014), estudando a patogenicidade de *M. incognita* e *M. javanica* na cv. BRS Pioneiro, *M. javanica* apresenta maior potencial de danos, pois estes foram observados mesmo quando em nível populacional mais baixo. Além disso, a maioria das cultivares apresentam genótipos de elevada suscetibilidade ao ataque desses organismos (SILVA e DEL PELOSO, 2006; INOMOTO, 2011).

Estes nematoides também infectam diversas poáceas, sendo citados como nematoides de grande importância para a cultura do arroz (EISENBACK e TRIANTAPHYLLOU, 1991). Dentre as espécies de nematoides das galhas mais prejudiciais à cultura em todo o mundo, citam-se *M. graminicola* Golden e Birchfield e *M. javanica* (ICHINOHE, 1972; HOLLIS JR e KEOBOONRUENG, 1984) e destes, a espécie predominante no arroz de sequeiro é *M. javanica* (SHARMA, 1979), considerado o mais importante nessa cultura no Brasil, visto que o sistema de sequeiro corresponde à maior área cultivada (PRABHU, 1980). Dentro desse contexto, diversas pesquisas visam



o estudo da resistência de diferentes cultivares de arroz, porém em sua maioria os resultados apontam a suscetibilidade dos genótipos estudados com relação ao *M. javanica* e *M. incognita* (SILVA et al., 2004b; ARAÚJO FILHO et al., 2009; SILVA et al., 2011).

No milho a resistência ao *M. javanica* é observada, mas apesar de muitos materiais não apresentarem sintomas aparentes, existem relatos de materiais suscetíveis a este nematoide (FILLI e MONTEIRO, 1987; BRITO e ANTONIO, 1989; ASMUS e ANDRADE, 1997; MEDEIROS et al., 2001; SILVA et al., 2001). Dessa forma, torna-se essencial conhecer a reação de cada cultivar, para sua correta utilização no manejo dos nematoides das galhas (ASMUS e ANDRADE, 1997).

## 2.2 PRÁTICAS ADOTADAS PARA O CONTROLE DE NEMATOIDES

Com relação à adoção de práticas de controle, apesar da possibilidade do uso de nematicidas, a eficiência é relativa, pois o tegumento do patógeno apresenta permeabilidade reduzida, conferindo a eles grande resistência a agentes físicos e químicos (ALCANFOR et al., 2001). O custo elevado, os problemas de contaminação ambiental e toxicidade ao homem, além da capacidade de selecionar genótipos resistentes (GHINI e KIMATI, 2000; FILETI et al., 2011), aliados à existência de poucos produtos com registro para culturas anuais, tornam essa prática pouco atrativa.

Por outro lado, uso de cultivares resistentes é uma prática bastante desejável, visto apresentar baixo custo para o produtor e ser ambientalmente segura (BOERMA e HUSSEY, 1992; SILVA, 2001). Apesar disso, um programa de melhoramento genético é oneroso e demorado, nem sempre respondendo rapidamente à necessidade da agricultura (CAVALCANTI et al., 2005). A resistência de plantas a nematoides apresenta padrão monogênico ou oligogênico para a maioria dos casos observados (BOERMA e HUSSEY, 1992), o que favorece a transferência de genes pelo melhoramento convencional. Mesmo com isso, infere-se que a resistência tende a ser mais duradoura quando poligênica ou quantitativa (CAMARGO, 2011). Além desse quesito, a expressão do fenótipo resistente pode ser afetado por diversos fatores que favorecerem a ocorrência de danos, mesmo que a durabilidade da resistência de cultivares de soja no Brasil seja considerada satisfatória (SILVA, 2001), logo, a ação dessa tecnologia, assim como a dos nematicidas, aumenta a pressão de seleção sobre os patógenos.

Para a redução da pressão de seleção sobre os patógenos, programas de rotação de culturas que incluam, além de espécies e cultivares resistentes, algumas plantas

hospedeiras e soja suscetível são recomendados (CAVINESS, 1992; RIGGS, 1995; DIAS et al., 2010). Plantas antagonistas, armadilhas, hospedeiras desfavoráveis e produtoras de compostos nematicidas e/ou nematostáticos vêm sendo muito estudadas para o controle de nematoides (FERRAZ et al., 2010), assim como a integração lavoura pecuária pois a maioria das forrageiras não são hospedeiras dos nematoides das galhas. Porém, vale ressaltar a necessidade de controle de plantas daninhas, uma vez que muitas espécies são suscetíveis ao mesmo (GRIGOLLI e ASMUS, 2014).

A adoção de práticas de controle de forma isolada, em geral, não resulta em controle efetivo desses fitoparasitas, sendo o manejo integrado o método mais eficiente (DIAS-ARIEIRA e CHIAMOLERA, 2011). O manejo integrado busca aceitar que o patógeno faz parte do sistema agrícola, devendo ser controlado de forma racional e continua buscando reduzir seus danos, mantendo-os abaixo do limiar de danos econômicos e não sua erradicação (BERGAMIM-FILHO e AMORIM, 2011).

No caso das nematoses não é diferente, é necessária a convivência com tais parasitos na área, sendo citada a rotação de culturas, desde que realizada de forma correta, como a melhor opção (GRIGOLLI e ASMUS, 2014), podendo ser utilizadas plantas resistentes, não hospedeiras ou antagonistas (SOUZA e PIRES, 2007), além de adubos verdes (INOMOTO et al., 2006).

A adição de matéria orgânica ao solo, pelo emprego de adubos verdes (INOMOTO et al., 2006) ou por meio de outras fontes, como os adubos orgânicos (SILVA et al., 2006), auxilia na redução da população dos nematoides, sendo a deposição de biomassa vegetal uma dentre as principais fontes de matéria orgânica utilizadas para esse fim (FERRAZ et al., 2010).

Outras práticas têm se mostrado promissoras, como o tratamento de sementes (RIBEIRO et al., 2012), para o qual alguns produtos apresentam efeito supressor da população de nematoides no início do desenvolvimento da cultura e reduzem as perdas de produção (GRIGOLLI e ASMUS, 2014). A nutrição mineral (SILVA et al., 2006; SANTANA-GOMES et al., 2013) também pode ser uma alternativa ao controle de nematoses, pois favorece a planta, de forma a reduzir sua suscetibilidade a tais parasitos. Por fim, cita-se o uso de indutores de resistência (DIAS-ARIEIRA et al., 2013), os quais vêm sendo recentemente estudados não apenas para o controle de fitonematoides, como de diversas outras doenças.

### 2.3 INDUTORES DE RESISTÊNCIA

A capacidade de colonização de um microrganismo depende dos mecanismos que o mesmo utiliza para vencer as barreiras de defesa presentes no hospedeiro e, no caso dos nematoides, podem afetar o metabolismo e até mesmo promover alterações na arquitetura do sistema radicular e, para que o hospedeiro não seja colonizado, este deve desenvolver mecanismos de resistência que resultam em um processo de co-evolução dinâmico entre o patógeno e a planta hospedeira (JACKSON e TAYLOR, 1996).

As plantas possuem naturalmente reação de resistência a patógenos, sendo essa constituída de barreiras e mecanismos de defesa pré-existentes (BARROS et al., 2010). Apesar disso, nem sempre tais mecanismos são eficientes, de modo que é necessária a adoção de outras práticas para o controle de doenças.

Existem produtos que podem ser aplicados nas plantas como indutores de resistência, não apresentando atividade direta sobre os patógenos, mas sobre mecanismos bioquímicos e genes da planta (GUZZO, 2004). Desse modo, a produção de barreiras físicas e bioquímicas, desencadeada pela aplicação de produtos que resultam na indução da resistência em plantas (KLOEPPER et al., 1992), faz com que a mesma seja considerada dinâmica (BONALDO et al., 2005).

Essa dinâmica inicia com um agente externo, também chamado de elicitor, que reage com um receptor na superfície da célula vegetal, produzindo um sinal primário que é transmitido para dentro da célula e, por sua vez, mensageiros secundários são ativados, resultando na expressão de genes específicos e consequente produção de proteínas relacionadas à resistência (LEITE e PASCHOLATI, 1997). Os sinais produzidos consistem em uma cascata de sinalização que envolve moléculas como o ácido salicílico (AS), o ácido jasmônico (AJ) e um metil ester deste, metil jasmonato (MeJa), e o etileno (ET), compostos capazes de induzir a expressão de genes relacionados à defesa (PERVIEUX et al., 2004). Desse modo, são ativados os mecanismos que respondem a presença do patógeno por meio da sensibilização da planta (CONRATH et al., 2002).

A ação dos indutores de resistência envolve o aumento da atividade enzimática, de enzimas como a peroxidase,  $\beta$ -1, 3-glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase e polifenol oxidase (CAVALCANTI et al., 2005). A resistência pode ser local, sendo denominada de Resistência Localizada Adquirida (RLA), ou sistêmica, nomeada Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) (VAN LOON et al., 1998) ou Resistência Sistêmica Induzida (RSI) (WALLING, 2001). Estas duas últimas são fenotipicamente semelhantes, porém diferem quanto ao agente elicitor, caracterizado como patógeno em

RSA e como agentes benéficos, simbiotes ou abióticos em RSI (ROMEIRO et al., 2005). A RSA é dependente do AS para o aumento da produção de mecanismos de defesa, enquanto a RSI depende da ação sequencial de AJ e ET (COELHO, 2003; LANNA FILHO et al., 2010; CARVALHO, 2012), sendo ambas dependentes da proteína de regulação NPR1 (PASCHOLATI, 2011). Na RSA ocorre a expressão de genes de proteínas relacionadas à patogênese, enquanto na RSI não é observada alteração na expressão de genes, pela modificação dos padrões de RNA vegetal ou proteicos, ainda não sendo conhecidos os compostos de defesa que atuam (WALLING, 2001).

A eficiência da indução dependente do efeito protetor, o qual pode durar de poucos dias, semanas ou por toda a vida da planta, pode ser transmitida por enxertia (PASCHOLATI, 2011). Assim, pode-se ter necessidade de reaplicação ou não do indutor, dependendo da duração do efeito protetor do mesmo em cada cultura.

Diversos microrganismos e compostos já foram avaliados quanto ao potencial indutor de resistência, os quais apresentam resultados promissores, reduzindo a severidade de doenças causadas por diferentes patógenos em várias culturas (VAN-PEER et al., 1991; HASKY-GÜNTHER et al., 1998; SILVA et al., 2004a; GUIMARÃES et al., 2010; DIAS-ARIEIRA et al., 2012). A exemplo cita-se o acibenzolar-S-metil (ASM), derivado da molécula de AS, que ativa mecanismos de resistência latentes nas plantas por meio da expressão de genes relacionados a RSA, que codificam proteínas relacionadas a patogênese (proteínas PR), resultando no aumento da atividade de peroxidases,  $\beta$ -1,3 glucanases e enzimas relacionadas a produção de fitoalexinas e lignina (BENHAMOU e BÉLANGER, 1998; COLE, 1999; RESENDE et al., 2000; FERNANDES et al., 2009; FILIPINI, 2011). O ASM é o ingrediente ativo do produto comercial Bion<sup>®</sup> (Syngenta), único registrado como indutor de resistência no Ministério da Agricultura do Brasil até 2011 (MAPA, 2011).

Diversas pesquisas vem comprovando a eficiência do ASM contra nematoides. Na soja, o tratamento com ASM uma semana antes da inoculação promoveu a redução do número de ovos por grama de raiz (PUERARI et al., 2013). A aplicação de ASM em plântulas de mamoeiro resultou em acúmulo de lignina nas raízes (TAVARES et al., 2009), fator que pode favorecer maior resistência a penetração do sistema radicular por nematoides. Foi observada, também, a capacidade desse produto em aumentar a resistência a *M. incognita* em cultivares de tomateiro em estágio inicial de desenvolvimento (SILVA et al., 2004a).

O MeJa é caracterizado como um metabólito secundário comum em plantas e capaz de induzir a síntese de inibidores de proteinase em fabáceas e solanáceas (RYAN e BALLS, 1962; FARMER e RYAN, 1990). A eficiência no controle de *M. incognita* em cana-de-açúcar foi demonstrada por Guimarães et al. (2010), que observaram alterações na atividade enzimática da  $\beta$ -1,3 glucanase e peroxidase, devido a uma provável reação de defesa. Guimarães et al. (2008) observaram a eficiência do MeJa na indução de resistência a *M. incognita* nas cultivares de cana-de-açúcar ‘RB867515’ e ‘RB92579’, porém não observaram eficiência do mesmo na indução de resistência quando aplicado na cultivar ‘RB863129’, cultivada em solo infestado com *Pratylenchus zaei* Graham. A aplicação de cis-jasmone em plantas de soja induziu a produção de compostos de defesa, especialmente na cultivar resistente testada (PI 595099), na qual ocorreu aumento da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase após 96 e 120h da aplicação e da fitoalexina coumestrol a partir de 48h da aplicação do indutor, estando essa fitoalexina relacionados à resistência da soja a *M. javanica* (JANEGITZ et al., 2012).

Algumas rizobactérias promotoras de crescimento também são citadas como indutoras de resistência a nematoides (TUZUN e KLOEPPER, 1995; WEI et al., 1996; SIDDIQUI e SHAUKAT, 2004), dentre elas *Rhizobium etli* Segovia, a qual induziu a resistência sistêmica e reduziu o número de ovos e galhas nas raízes de tomateiro em 38,81 e 35,34%, respectivamente (FABRY et al., 2007). Fabry et al. (2008), utilizando aplicação conjunta de *R. etli* e húmus, observaram a eficiência do tratamento em controlar *M. incognita* e *M. javanica*, o que, segundo os autores, deu-se devido à liberação de compostos húmicos e a multiplicação da bactéria, que pode ter induzido a resistência nas plantas de tomate.

Promotores e reguladores de crescimento também são estudados quanto à capacidade de induzir resistência contra patógenos (JACKSON, 2000; SIDDIQUI e MAHMOOD, 2001; SIDDIQUI, 2004). Stimulate<sup>®</sup> e fosfito de potássio reduziram a densidade populacional de *P. brachyurus*(Godfrey) Filipjev e Sch. Stekh.em soja e milho (DIAS-ARIEIRA et al., 2012). O fosfito é uma forma não metabolizável de fósforo que é absorvido pelas folhas e translocado via floema e xilema podendo se acumular na planta por um período de até 150 dias (GUEST e GRANT, 1991; MALUSA e TOSI, 2005). Ele é capaz de ativar mecanismos de defesa que resultam na produção de proteínas PR, compostos fenólicos e burstoxidativo (NOJOSA et al., 2005).

Outros produtos, como organo-minerais (CHAVES et al., 2009), óleos essenciais (MATTEI et al., 2013), extratos de plantas (MAZARO et al., 2008) e alguns

minerais, também têm sido pesquisados. Para esses últimos, é requerida uma quantidade mínima do nutriente para o aumento da capacidade de defesa da planta (DALLAGNOL et al., 2009). A boa nutrição das plantas também pode favorecer a resistência, pelo fato de que falta ou excesso de nutrientes podem alterar o metabolismo, devido a funcionalidade dos mesmos nas plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2004). Assim, a nutrição adequada reduz a incidência de pragas e doenças por garantir melhor desenvolvimento das plantas, de forma que pode de certo modo afetar a necessidade do controle químico (AGRIOS, 2005).

O silício é um elemento considerado agronomicamente benéfico às plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2005), o qual favorece o aumento da resistência a condições de estresses bióticos e abióticos em diversas culturas (ZANÃO JUNIOR et al., 2010). Além disso, a aplicação antes do plantio pode reduzir ou eliminar o número de aplicações de fungicidas (DATNOFF et al., 2001), podendo ser uma alternativa eficiente na redução da severidade de algumas doenças, especialmente no caso de doenças foliares em arroz (SEEBOLD JUNIOR et al., 2004), tais como a brusone causada pelo fungo *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. Teleomorfo *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr (BERNI e PRABHU, 2003) e mancha parda, cujo agente causal é o fungo *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoem. [anamorfo de *Cochliobolus miyabeanus* (Ito et Kuribayashi) Drechsler ex Dastur] (ZANÃO JUNIOR et al., 2009). Em outras culturas, como o feijão, o suprimento de silício, por meio da aplicação de silicato de potássio, favorece a redução da incidência de antracnose (MORAES et al., 2009), por exemplo.

#### 2.4 SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

O silício está entre aqueles nutrientes classificados como benéficos, influenciando o desenvolvimento das plantas, especialmente no caso da cultura do arroz e outras poáceas, as quais são acumuladoras de silício e, por isso, respondem a esse com melhor desenvolvimento, menor transpiração e maior tolerância à pragas e doenças, por possuir ação protetora das plantas (BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002; LIMA FILHO e TSAI, 2005; GOMES et al., 2011).

Devido a tais benefícios, o silício tem sido utilizado em vários países como fertilizante, tendo sido incluído na legislação brasileira para produção e comercialização de fertilizantes e corretivos à lista de micronutrientes benéficos há pouco tempo (RODRIGUES et al., 2011). A absorção do mesmo é feita sob forma de ácido

monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), molécula solúvel transportada na planta via xilema (FAQUIN, 2005).

A atividade do silício como indutor ainda não foi totalmente elucidada, mas como ele se deposita nas paredes celulares, é possível que a resistência seja decorrente da formação de uma barreira física, que confere maior resistência a degradação enzimática, reduzindo a ocorrência de doenças (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995; TERRY e JOYCE, 2004). O acúmulo na parede celular é decorrente da complexação do silício com os compostos fenólicos da parede celular de células epidérmicas, de modo a reduzir o aumento no tamanho da lesão e, conseqüentemente, a intensidade das doenças (CARVER et al., 1987; RODRIGUES et al., 2001). Maiores teores de silício no arroz resultam na deposição de sílica nas folhas, havendo a deposição e polimerização de ácido monossilícico abaixo da cutícula, reduzindo a severidade das doenças foliares na cultura, por formar uma camada de dupla proteção na epiderme: cutícula-sílica (YOSHIDA, 1965; BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002). Além disso, pode atuar ainda ativando barreiras químicas ou bioquímicas na planta (EPSTEIN, 1999).

É proposto que o silício solúvel possui o papel de potencializar os mecanismos de defesa nas plantas, favorecendo o aumento de compostos fenólicos e algumas fitoalexinas, promovendo a ativação de genes codificadores de proteínas PR e ainda aumentando a atividade de  $\beta$ -1,3 glucanase, peroxidases,  $\beta$ -glicosidases, fenil amônia liase, polifenoloxidase e de enzimas líticas ou associadas ao metabolismo secundário (CHÉRIF et al., 1994; FAWÉ et al., 1998; RODRIGUES et al., 2001; BÉLANGER e MENZIS, 2003; RODRIGUES et al., 2003; RODRIGUES et al., 2004; RODRIGUES et al., 2005; LIANG et al., 2005), além do acúmulo de fenóis junto à estrutura de alguns patógenos no ponto de infecção e a maior produção de algumas classes de fitoalexinas em arroz (DATNOFF et al., 2007), que reforçam a hipótese de que esse elemento não age sobre a resistência da planta apenas de forma passiva.

A resposta de plantas de diferentes famílias à aplicação de silício é variável, dependendo do fato de serem ou não espécies acumuladoras (OLIVEIRA, 2009). A capacidade de absorção e acúmulo de silício, de acordo com os percentuais de  $SiO_2$  na matéria seca das plantas, é usada para a classificação das mesmas como acumuladoras (gramíneas, como o arroz, com 10 a 15  $dag.kg^{-1}$  de  $SiO_2$ ), intermediárias (cereais e algumas dicotiledôneas, com 1 a 5  $dag.kg^{-1}$ ) ou não acumuladoras (dicotiledôneas, a maioria delas, com teores menores que 0,5  $dag.kg^{-1}$ ) (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, o milho e o arroz são plantas da família Poaceae, consideradas acumuladoras de

Si, por possuírem grande capacidade de absorção desse nutriente, sendo este elemento capaz de aumentar o crescimento e produtividade, assim como ocorre para outras gramíneas (ELAWAD e GREEN, 1979; EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995; EPSTEIN, 1999; BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002).

Em estudo realizado por Nolla et al. (2009), a aplicação tanto de calcário como de silicato resultou na correção do pH do solo e melhor desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de milho, sendo maior naquelas que receberam aplicação de silicato. A aplicação de silicato também favoreceu o aumento dos teores de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea de plantas de milho (SARTO et al., 2012). É sabido ainda que o silício promove aumento na resistência biótica e abiótica na referida cultura (SAVANT et al., 1997).

A soja é uma dicotiledônea cujo teor de silício foliar chega a 1,5% (MITANI e MA, 2005), tendo se mostrado ineficiente em absorver silício fornecido via foliar pela aplicação de KSi, apresentando teores semelhantes a espécies consideradas não acumuladoras (MA e TAKAHASHI, 2002). Também entre as dicotiledôneas com resposta mediana tem-se o feijão, que quando suprido com silício, apresenta melhor crescimento e produtividade (ELAWAD e GREEN, 1979). A aplicação foliar de silício favoreceu o aumento de produtividade nas culturas do feijão, soja e amendoim, devido ao aumento no número de vagens por planta (CRUSCIOL et al., 2013).

Vários estudos a respeito da utilização do silício para controle de doenças e/ou redução da sua severidade ou incidência vêm sendo realizados, uma vez que por são uma alternativa para o controle de doenças ocorrentes a inúmeras espécies de plantas (DATNOFF et al., 2007). Na cultura do arroz, a maior disponibilidade de silício favorece a resistência das plantas contra a ocorrência de doenças como queima das bainhas, causada por *Rhizoctonia solani* Kühn [anamorfo de *Thanatephorus cucumeris* (A. B. Frank) Donk] (SCHURT et al., 2012), escaldadura das folhas causada por *Monographella albescens* Theum, brusone e mancha-dos-grãos causada por um complexo de fungos (*Drechslera*, *Rhynchosporium*, *Alternaria*, *Nigrospora*, *Pyricularia*, *Phoma*, etc) (WINSLOW, 1992). Essa maior resistência resulta em menor severidade de doenças e sua decorrência é atribuída a formação de uma barreira física, pela deposição de sílica na epiderme das folhas e silício nas paredes celulares, culminando no aumentando da resistência a degradação enzimática nos tecidos, reduzindo a severidade das doenças (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995; BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002; TERRY e JOYCE, 2004).



Em outras culturas como o feijão, o suprimento de Si, por meio da aplicação de silicato de potássio, favorece a redução da incidência de antracnose (MORAES et al., 2009), enquanto na cultura da soja, a aplicação de silicato de cálcio e calcário 47 dias após a emergência resultou em diminuição significativa do nível da severidade de *Peronospora manshurica* (Naoum.) Syd. ex Gaum (NOLLA et al., 2004). Em estudo realizado por Cruz et al. (2012), foi observada eficiência do silício na redução dos sintomas da ferrugem-asiática-da-soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow), sendo indicado pelos autores como possível alternativa para o manejo integrado da doença.

A atividade dos indutores de resistência contra nematoides é resultado da paralisação ou aumento do ciclo de parasitismo, influenciando no estímulo a eclosão e capacidade de localização e invasão das raízes pelos juvenis, a indução e manutenção do sítio de alimentação, além do desenvolvimento das fêmeas adultas e a produção de ovos (COOK, 1991). A ativação dos mecanismos de resistência nas plantas por indutores tende a desviar o metabolismo, de modo que o gasto de energia é realocado, podendo resultar em perda de produção (MENDES et al., 2011). Por outro lado, é defendido que a aplicação de silício, aparentemente, induz mecanismos de defesa apenas quando a planta é atacada pelo patógeno, havendo uma rápida e prolongada resposta de defesa, não específica, ou seja, eficiente contra vários patógenos (CHÉRIF et al., 1994).

A aplicação de silicato de cálcio em feijão, sob dose de  $4\text{g dm}^{-3}$  de substrato proporcionou redução do fator de reprodução (FR) de *M. javanica* e *M. incognita* (DUTRA et al., 2004) e na soja, o silicato de potássio ( $1,6\text{ mL dm}^{-3}$  de substrato) reduziu a reprodução de *Heterodera glycines* Ichinohe em 75% (FREIRE, 2007).

Em hortaliças, a aplicação de silício para o controle de nematoides também foi verificada. Redução de 60% no número de ovos de *M. javanica* e *M. incognita* em pepineiro foi observada quando aplicados silicato de cálcio ou silicato de potássio nas doses de 2,0 g ou  $3,2\text{ mL dm}^{-3}$  de solo, respectivamente. Na alface e no tomateiro, houve redução de 80 e 50% do FR pela aplicação de  $3,2\text{ mL dm}^{-3}$  de silicato de potássio e  $4,0\text{ g dm}^{-3}$  de silicato de cálcio, respectivamente (FREIRE, 2007).

Em cana-de-açúcar tratada com metil jasmonato e silicato de potássio, constatou-se menor número de número de *M. incognita* por grama de raiz, além de observar-se que o parasitismo promoveu maior atividade enzimática na planta e que o silicato de potássio teve efeito sobre a atividade da peroxidase em plantas parasitadas aos 14 e 21 dias, permitindo concluir que os indutores estudados afetaram a população de

nematoides e a atividade enzimática, o que, segundo os autores, seria provavelmente uma resposta de defesa das plantas (GUIMARÃES et al., 2010).

O silício (silicato de cálcio e magnésio), aplicado em mudas de bananeira, reduziu em aproximadamente 64% o FR de *M. javanica*, utilizando-se doses de 1,28 g de silicato  $\text{kg}^{-1}$  de solo (OLIVEIRA et al., 2012). O silicato de potássio também demonstrou potencial de redução da eclosão de juvenis de *M. exigua* Goeldi, quando utilizado nas doses de 5,0  $\text{mL L}^{-1}$ , 7,5  $\text{mL L}^{-1}$  e 10,0  $\text{mL L}^{-1}$ , porém não afetou a mortalidade após 24 h da exposição dos juvenis à solução, independentemente da dose (SALGADO et al., 2007).

### 3 REFERÊNCIAS

ADAPAR - Agência De Defesa Agropecuária do Paraná. **Lista de agrotóxicos aptos para comércio e uso no paraná observações importantes.**2012. 31 p.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. San Diego: Elsevier, 2005. 922 p.

ALCANFOR, D.C.; INNECO, R.; COLARES, J.S.; MATTOS, S.H. Controle de nematoides de galhas com produtos naturais. **Horticultura Brasileira**, v.19, 2001.

ANTONIO, H.; OLIVEIRA, M. C. N. Estimativas das perdas causadas por *Meloidogyne javanica* em lavoura de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 13., 1989, Maceió. **Anais...**Maceió: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1989. p. 6.

ARAÚJO FILHO, J.V.; MACHADO, A.C.Z.; FERRAZ, L.C.C.B. Host status of some selected Brazilian upland rice cultivars to *Meloidogyne incognita* race 4 and *Rotylenchulus reniformis*. **Nematology**, v. 12, n. 6, p. 929-934, 2009.

ASMUS, G. L. Danos Causados à Cultura da Soja por Nematóides do Gênero *Meloidogyne*. In: SILVA, J. F. V. (Org.). **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2001. p. 39-62.

ASMUS, G. L.; ANDRADE, P. J. M. Reprodução de *Meloidogyne javanica* em Cultivares de Milho. **Nematologia Brasileira**, v.21, n.2, p. 39-47, 1997.

BAKKER, E.; DEES, R.; BAKKER, J.; GOVERSE, A. Mechanisms involved in plant resistance to nematodes. In: TZUN, S.; BENT, E. (Eds.). **Multigenic and induced systemic resistance in plants**. New York: Springer Science, 2006. p.314-334.

BARBOSA FILHO, M.P.; PRABHU, A.S. (Org.). **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2002. 4p. (EMBRAPA. Circular Técnica 51).

BARROS, F. C.; SAGATA, E.; FERREIRA, L. C. C.; JULIATTI, F. C. Indução de resistência em plantas contra fitopatógenos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 231-239, 2010.

BÉLANGER, R.R.; MENZIES, J.G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. **Fitopatologia Brasileira**, Uberlândia, v. 28, p. S42-S45. 2003.

BENHAMOU, N.; BELANGER, R. R. Induction of systemic resistance to *Pythium* damping-off in cucumber plants by benzothiadiazole: ultrastructure and cytochemistry of the host response. **Plant Journal**, v.14, p.13-21, 1998.

BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L.; Manejo integrado de doenças. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. (Eds.). **Manual de Fitopatologia, Princípios e Conceitos**, 4.ed., Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, 2011. cap.19, p. 409-421.

BERNI, R. F.; PRABHU, A. S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.195-201, 2003.

BOERMA, D.; HUSSEY, R.S. Breedingplants for resistance to nematodes. **Journal of Nematology**, v. 24, p. 242-252, 1992.

BONALDO, S.M.; PASCHOLATI, S.F.; ROMEIRO, R.S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Eds.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2005. p.11-28.

BRITO, J. A.; ANTONIO, H. Resistência de genótipos de milho a *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p.129-137, 1989.

CAETANO, M.L. Vacinas, agora para as plantas. Campo e Negócios HF. Uberlândia, MG. **Agro Comunicação**, v. 74, p.46-52, 2011.

CAMARGO, L. E. A.; Controle genético. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). **Manual de Fitopatologia**, Princípios e Conceitos, 4.ed., Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, 2011. cap. 15, p. 325-340.

CARVALHO, N. L. Resistência genética induzida em plantas cultivadas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1379-1390, mar-ago. 2012. Disponível em:<<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/5930>>. Acesso em: 02 set. 2014.

CARVER, T. L. W.; ZEYEN, R.J.; AHLSTRAND, G.G. The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphegraminis*) germinating on barley. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 31, p. 133-148, 1987.

CAVALCANTI, L.S.; PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOALATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. **Indução de resistência a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 263 p.

CAVINESS, C.E. Breeding for resistance to soybean cyst nematode. In: RIGGS, R.D.; WRATHER, J.A. (Eds.) **Biology and management of the soybean cyst nematode**, Saint Paul: The American Phytopathological Society, 1992. p. 143-156.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; PIMENTEL, R. M. de M.; COELHO, R. S. B.; GUIMARÃES, L. M. P.; MARANHÃO, S. R. V. L. Resistance Induction for *Meloidogyne incognita* in Sugarcane through Mineral Organic Fertilizers. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, n. 6, p.1393-1400, nov/dec, 2009.

CHARCHAR, J. M.; MOITA, E. A. W. **Metodologia para seleção de hortaliças com resistência a nematoides: Alfaca/Meloidogyne spp.** 2005. (Comunicado Técnico, 27). Embrapa Hortaliças. 8p.

- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p.236-242, 1994.
- COELHO, R. S. B. Resistência Genética a Doenças na Cultura do Inhame (*Dioscorea* spp.). **Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA**, Recife, PE, 2003.
- COLE, D.L. The efficacy of acibenzolar-S-methyl, an inducer of systemic acquired resistance, against bacterial and fungal disease of tobacco. **Crop Protection**, v. 18, p. 267-273, 1999.
- CONRATH, U.; PIETERSE, C. M. J.; MAUCH-MANI, B. Priming in plant pathogen interactions. **Trends in Plant Science**, v. 7, p. 210-216. 2002.
- COOK, R. Resistance in plants to cyst and root-knot nematodes. **Agricultural Zoology Reviews**, v. 4, p. 231-239, 1991.
- CORDEIRO, R. C.; SANTOS, J. M. dos. Prejuízos causados por nematóides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* na cultura de cana-de-açúcar. In: Semana de Tecnologia do Curso de Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia de Jaboicabal, 3., Jaboicabal, 2010. Jaboicabal: **Ciência & Tecnologia**: FATEC-JB, v.1, 2010. Suplemento.
- CRUSCIOL, A. A. C.; SORATTO, R. P.; CASTRO, G. S. A.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 404-410, abr/jun, 2013.
- CRUZ, M.F.A.; SILVA, L.F.; RODRIGUES, F.A.; ARAUJO, J.M.; BARROS, E.G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p.142-145, jan. 2012.
- DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MIELLI, M. V. B.; MA, J. F.; DATNOFF, L. E. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, v. 99, p. 116–121. 2009.
- DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Eds.) **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. p. 233-246.
- DATNOFF, L. E.; SEEBOLD, W.K.; CORREA, V.F.J. The use of silicon for integrated disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant resistance. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖFER, G.H. (Eds.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. cap.10, p. 171-183.
- DECRAEMER, W.; HUNT, D.J. Structure and classification. In: PERRY, R.; MOENS, M. (Eds.). **Plant Nematology**. Wallingford: CAB International, 2006. p. 03-32.
- DIAS, W.P.; GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; CARNEIRO, G.E.S. **Nematoides em soja: Identificação e Controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Circular Técnica 76).

DIAS, W. P.; RIBEIRO, N.R.; HOMECHIN, M.; LOPES, I.O.N.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G.E.S.; SILVA, J.F.V. Manejo de nematóides na cultura da soja In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 27. Goiânia, 2007. **Resumos...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2007. p. 26-30.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; CHIAMOLERA, F.M. Cresce a incidência de nematoides em milho e soja. **Revista Campo & Negócios**, n.97, p.18-21, 2011.

DIAS-ARIEIRA, C.R.D.; SANTANA-GOMES, S.M.; PUERARI, H.H.; FONTANA, L.F.; RIBEIRO, L.M.; MATTEI, D. Induced resistance in the nematodes control. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n. 20, p. 2312-2318, 2013.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MARINI, P. M.; FONTANA, L. F.; ROLDI, M.; SILVA, T. R. B. Effect of *Azospirillum brasilense*, Stimulate® and potassium phosphite to control *Pratylenchus brachyurus* in soybean and maize. **Nematropica**, v. 42, p.170-175, 2012.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; CHIAMOLERA, F.M. Cresce a incidência de nematoides em milho e soja. **Revista Campo & Negócios**, n.97, p.18-21, 2011.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematoides em cana-de-açúcar. **Jornal Cana**, v. 141, p. 64-69, 2005.

DUTRA, M. R.; GARCIA, A. I. A.; PAIVA, B. R. T. L.; ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito do silício aplicado na semeadura do feijoeiro no controle de nematoides das galhas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 172, 2004.

DUTRA, M.R.; CAMPOS, V.P. Manejo do solo e da irrigação como nova tática de controle de *Meloidogyne incognita* em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v.28, p. 608-614, 2003.

EISENBACK, J.D.; TRIANTAPHYLLOU, H. Root-Knot nematode: *Meloidogyne* sp. and races. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of Agricultural Nematology**. New York, v.3, p. 191-274, 1991.

ELAWAD, S. H.; GREEN JR., V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, v. 28, p. 235-253. 1979.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1996/1997**. Centro nacional de pesquisa de soja, Londrina, 1996. 164p. (EMBRAPA. CNPSo. Documentos, 96).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plants**. Sunderland: Sinauer Associates. 2004. p. 380.

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

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

FERRAZ, S.; FREITAS, L.G. de; LOPES, E.A.; DIAS-ARIEIRA, C.R. **Manejo sustentável de nematóides**. Viçosa: Editora UFV, 2010. 304p.

FABRY, C.F.S.; FREITAS, L.G.; LOPES, E. A.; NEVES, W. S.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.; FERRAZ, S. Efeito da aplicação de húmus e *Rhizobium etli* sobre *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, n. 3, p. 3, 2008.

FABRY, C.F.S.; FREITAS, L.G.; GODINHO, M.T.; NEVES, W.S.; FERRAZ, S. Resistência Sistêmica a *Meloidogyne javanica* induzida por *Rhizobium etli*. **Nematologia Brasileira**, São Paulo, v.31, n.2, p.5-9, 2007.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras:UFLA/FAEPE, 2005. p.73-139.

FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 87, p. 7713-7716, 1990.

FAWE, A.; ABOUD-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v.88, n.5, p. 396-401, 1998.

FERNANDES, L. H. M.; RESENDE, M. L. V. de; COSTA, B. G.; DIAS, H. C. B.; VILELA, G. M. S. Ativador de resistência ASM (Bion®) no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em campo. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 6., Vitória, 2009. **Anais...** Vitoria: [s.n.], jun. 2009.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (eds.). **Manual de Fitopatologia**, Princípios e Conceitos, 4. Ed., Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, p. 325-340, 2011.

FILETI, M.S.; SIGNORI, G.; BARBIERI, M.; GIROTO, M.; FELIPE, A.L.S.; JUNIOR, C.E.I.; SILVA, D.P.; EPIPHANIO, P.D.; LIMA, F.C.C. Controle de nematoides utilizando adubos verdes. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n.20, ano 10, p.1-4, 2011.

FILLI, L. F. S.; MONTEIRO, A. R. Hospedabilidade de variedades de milho a *Meloidogyne incognita* raça 1. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 6-7, 1987.

FILIPINI, R. B. **Avaliação de indutores de resistência para o controle da sarna da macieira (*Venturia inaequalis* Cke.) e da cercosporiose da beterraba (*Cercospora beticola* Sacc.)**. 2011. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FREIRE, E. S. **Controle dos nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) e do cisto (*Heterodera glycines*) com silicatos**. 2007. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2007.

FREIRE, F.C.O.; FERRAZ, S. Nematóides associados ao feijoeiro, na Zona da Mata, Minas Gerais, e efeitos do parasitismo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* sobre o cultivar “Rico 23”. **Ceres**, Viçosa, v.24, p.141-149, 1977.

GHEYSEN, G.; JONES, J. T. Molecular aspects of plant-nematode interactions. In: PERRY, R.N.; MOENS, M. (Eds.). **Plant nematology**. Wallingford: CABI international, 2006. cap. 9, p. 234-254.

GHINI, R.; KIMATI, H. **Resistência de fungos a fungicidas**. Jaguariúna, São Paulo: Embrapa Meio Ambiente. 2000. p. 78.

GOMES, C. F.; MARCHETTI, M. E.; NOVELINO, J. O.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 531-538, 2011.

GRIGOLLI, J. F. J.; ASMUS, G. L. Manejo de nematoides na cultura da soja. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M.; PITOL, C.; GITTI, D. de C.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologia e produção: Soja 2013/2014**. Maracaju, MS: Fundação MS, 2014. p. 194-203.

GUEST, D. I.; GRANT, B. R. The complex action of phosphonate antifungal agents. **Biological Review**, v. 66, p. 59-187, 1991.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; COUTO, E. F.; MARANHÃO, S. R. V. L.; CHAVES, A. Efficiency and enzymatic activity elicited by methyl jasmonate and potassium silicate on sugarcane under *Meloidogyne incognita* parasitism. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.11-15, 2010.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; CHAVES, A.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MIRANDA, T. L. Efeito de Metil Jasmonato e Silicato de Potássio no Parasitismo de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zaeae* em Cana-de-Açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 1, 2008.

GUZZO, S. D. **Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência sistêmica adquirida em cafeeiro contra *Hemileia vastatrix***. 2004. 256 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

HAMMOND-KOSACK, K. E.; PARKER, J.E. Deciphering plant-pathogen communication: fresh perspectives for molecular resistance breeding. **Current Opinion in Biotechnology**, v.14, p. 77-193, 2003.

HASKY-GÜNTHER, K.; HOFFMANN-HERGARTEN, S.; SIKORA, R. A. Resistance against the potato cyst nematode *Globodera pallida* systemically induced by the rhizobacteria *Agrobacterium radiobacter* (G12) and *Bacillus sphaericus* (B43). **Fundamental & Applied Nematology**, v. 21, n. 5, p. 511-517, 1998.



HOLLIS JR., J. P.; KEOBOONRUENG, S. Nematode parasites of rice. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Plant and Insect Nematodes**. Marcel Dekker: New York. p. 95-146. 1984.

HUANG, S. P. Nematoides que atacam olerícolas e seu controle. **Informe Agropecuário**, v. 16, p. 31-36, 1992.

HUNT, D.J.; LUC, M.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.H. Identification, Morphology and Biology of Plant Parasitic Nematodes. In: LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. (Eds). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. 2.ed. London: CAB International, 2005. cap.2, p. 11-52.

ICHINOHE, M. Nematode diseases of rice. In: WEBSTER, J. M. (ed.). **Economic Nematology**. New York: Academic Press, p.127-143. 1972.

INOMOTO, M. M. Nematoides do gênero *Pratylenchus* em algodoeiro e feijoeiro no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, XXIX, Brasília. **Resumos**, p.147- 149, 2011.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L.; SILVA, R. A. D. Importância e manejo dos nematoides da soja. **Boletim de Pesquisa de Soja**, n. 14, p. 276-277, 2010.

INOMOTO, M.M.; MOTTA, L.C.C.; BELUTI, D.B.; MACHADO, A.C.Z. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.39-44, 2006.

JACKSON, T. J. Action of the fungicide phosphite on *Eucaliptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. **Plant Pathology**, v.49, p.147-154, 2000.

JACKSON, A. O.; TAYLOR, C. B. Plant-Microbe Interactions: Life and Death at the Interface. **The Plant Cell**, v. 8, p.1651-1668, 1996.

JANEGITZ, T.; VIEIRA, S.S.; GRAÇA, J.P.; UEDA, T.; SALVADOR, M.C.; LEMES, T.; OLIVEIRA, M.C.N.; DIAS, W.; FERRARESE-FILHO, O.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Indução de resistência de genótipos de soja a *Meloidogyne javanica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., Cuiabá, 2012. **Anais...** Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62351/1/273-s502.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2014.

KLOEPPER, J. W.; TUZUN, S.; KUC, J. Proposed definitions related to induced disease resistance. **Biocontrol Science and Technology**, v. 2, p. 349-351, 1992.

KOENNING, S. R.; OVERSTREET, C.; NOLING, J. W.; DONALD, P. A.; BECKER, J. O.; FORTNUM, B. A. Survey of crop losses in response to phytoparasitic nematodes in the United States for 1994. **Journal of Nematology**, v. 31, p. 587-618, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 70, p. 1-5, 1995.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010.

LEITE, B.; PASCHOLATI, S. F. Reconhecimento e transdução de sinais moleculares em interações plantas-fungos fitopatogênicos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.5, p. 235-280, 1997.

LIANG, Y.C.; SUN, W. C.; SI, J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, v.54, p.678- 685, 2005.

LIMA FILHO, O. F.; TSAI, S. M. (Org.). **O silício na produtividade e sanidade agrícola**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/MAPA, 2005. Folheto informativo.

LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Plantio de cafezal em área infestada por *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 14, n. 1, p. 18-19, fev. 1990.

LORDELLO, L. G. E. **Nematoides das Plantas Cultivadas**. 6. Ed. São Paulo: Editora Nobel, 1981. 314 p.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science. 2002.503 p.

MACHADO, A. C. Z.; DADAZIO, T.; MARINI, P. M.; SILVA, S. A. Patogenicidade comparativa de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em feijão. In: Congresso Nacional de Pesquisa em Feijão, XI, Londrina. **Anais...** 2014. Disponível em: <[http://www.conafe2014.com.br/\\_apps/anais/trabalho\\_ver.php?trabalho\\_id=118](http://www.conafe2014.com.br/_apps/anais/trabalho_ver.php?trabalho_id=118)>; Acesso em: 26 jan. 2015.

MALUSA, E.; TOSI, L. Phosphorous acid residues in apples after foliar fertilization: results of field trials. **Food Additives and Contaminants**, v. 22, p. 541-548, 2005.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrofit**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 7 mar. 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. Londres: AcademicPress, 1995. 889p.

MATTEI, D.; DIAS-ARIEIRA, C.R.D.; PUERARI, H.H.; DADAZIO, T.S.; ROLDI, M.; SILVA, T.R.B. Evaluation of *Rosmarinus officinalis* essential oil in inducing resistance to *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus brachyurus* in soybean. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, n.3-4, p. 1171-1175, 2013.

MAZARO, S. M.; CITADIN, I.; GOUVÊA, A.; LUCKMANN, D.; GUIMARÃES, S.S. Indução de fitoalexinas em cotilédones de soja em resposta a derivados de folhas de pitangueira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p. 1824-1829, out. 2008.

MEDEIROS, J. E.; BIONDI C. M.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E.M. Reação de genótipos de milho ao parasitismo de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 25, p. 243-245, 2001.

MENDES, L. S.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrociências**, v. 2, p. 51-63, set. 2011.

MÉTRAUX, J. P. Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. **European Journal of Plant Pathology**, v. 107, p.13-18, 2001.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p.1255-1261, 2005.

MOENS, M.; PERRY, R.N.; STARR, J.L. *Meloidogyne* Species: a Diverse Group of Novel and Important Plant Parasites. In: PERRY, R.N.; MOENS, M.; STARR, J.L. **Root-knot nematodes**. London: CAB International, 2009. cap.1, p.1-19.

MORAES, S.R.G.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G. de; SOUZA, P.E. de. Nutrição do feijoeiro e intensidade da antracnose em função da aplicação de silício e cobre. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 283-291, 2009.

NOJOSA, G. B. A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, A. V. Uso de fosfitos e silicatos na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005, v. 1, p. 139-153.

NOLLA, A.; PALMA, I.P.; SANDER, G.; VOLK, L.B.S.; SILVA, T.R.B. Desenvolvimento de milho submetido à aplicação de calcário e silicato de cálcio em um Argissolo arenoso do noroeste paranaense. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.4, p.154-162, 2009.

NOLLA, A.; KONDORFER, G.H.; ARRUDA, D.G. Controle de *Peronospora manchurica* na soja cultivada sob diferentes níveis de silicato de cálcio e calcário. In: Simpósio sobre silício na agricultura, 3, 2004. **Palestras**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.

OLIVEIRA, R. M.; RIBEIRO, R. C. F.; XAVIER, A. A.; PIMENTA, L.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica* e desenvolvimento de mudas de bananeira prata-anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 407-415, 2012.

OLIVEIRA, L.A. **Silício em plantas de feijão e arroz**: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio. 2009.159 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). **Manual de Fitopatologia**, Princípios e Conceitos, 4.ed., Piracicaba: Agronômica Ceres, v.1, 2011.cap. 35, p.593-636.

PEDROSA, E.M.R.; MOURA, R.M.; SILVA, E.G. Respostas de genótipos de *Phaseolus vulgaris* à meloidoginoses e alguns mecanismos envolvidos na reação. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v.25, p.190-196, 2000.

PEREIRA-DIAS, W.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. de S. **Nematóides em soja**: identificação e controle. Londrina: Embrapa soja, abr. 2010. (Circular Técnica, 76).

PERVIEUX, I.; BOURASSA, M.; LAURANS, F.; HAMELIN, R.; SÉGUIN, A. A spruce defensin showing strong antifungal activity and increased transcript accumulation after wounding and jasmonate treatments. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 64, p.331-341, 2004.

PRABHU, A. S. Sistema de produção de arroz de sequeiro visando o controle de brusone. EMBRAPA/CNPAF, **Circular Técnica**, n. 1, 1980. 15p.

PUERARI, H.H.; DIAS-ARIEIRA, C.R.; DADAZIO, T.S.; MATTEI, D.; SILVA, T.R.B. da; RIBEIRO, R.C.F. Evaluation of acibenzolar-S-methyl for the control of *Meloidogyne javanica* and effects on the development of susceptible and resistant soybean. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 044-048, 2013.

REMADE. Brometo de metila continua liberado para fins de tratamento quarentenário. **Revista da Madeira**, n. 103, mar. 2007.

RESENDE, M. L.; NOJOSA, J.B. A.; AGUILAR, M.A.G.; SILVA, L.H.C.P.; NIELLA, G.R.; CARVALHO, G.A.; GIOVANNI, G.; CASTRO, M.C. Perspectivas da indução de resistência em cacaueteiro contra *Crinipellis pernicioso* através do benzotriazolone (BTH). **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 149-156, 2000.

RIBEIRO, L. M.; CAMPOS, H. D.; RIBEIRO, G. C.; NEVES, D. L.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Efeito do tratamento de sementes de algodão na dinâmica populacional de *Pratylenchus brachyurus* em condições de estresse hídrico. **Nematropica**, v.42, n.1, 2012.

RIGGS, R.D. Management races of SCN. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 2., Rio Quente, 1995. **Anais...**Rio Quente: [s.n.],p.107-110, 1995.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. **Silício**: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, n.134, p.14-20, 2011.

RODRIGUES, F.A.; JURICK, W.M.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; ROLLINS, J.A. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 66, p.144-159, 2005.

RODRIGUES, F.A.; MCNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the

accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v.94, p.177-183, 2004.

RODRIGUES, F.A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; BÉLANGER, R.R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v.93, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, v. 85, p. 827-832, 2001.

ROMEIRO, R. S.; LANNA-FILHO, R.; VIEIRA, J. R.; SILVA, H. S. A.; BARACAT-PEREIRA, M. C.; CARVALHO, M.G. Macromolecules released by a plant growth-promoting rhizobacterium as elicitors of systemic resistance in tomato to bacterial and fungal pathogens. **Journal of Phytopathology**, v. 153, n. 2, p. 120-123, 2005.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. **Nematóides**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_54\\_711200516718.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_54_711200516718.html)>. Acesso em: 27 ago. 2014.

RYAN, C. A.; BALLS, A. K. An Inhibitor of Chymotrypsin from *Solanum tuberosum* and Its Behavior toward Trypsin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 48, p.1839-1844, 1962.

SALGADO, S. M. L.; RESENDE, M. L. V.; CAMPOS, V. P. Efeito de indutores de resistência sobre *Meloidogyne exigua* do cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1007-1013, 2007.

SANTANA-GOMES, S. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; ROLDI, M.; DADAZIO, T. S.; MARINI, P. M.; BARIZÃO, D. A. O. Mineral nutrition in the control of nematodes. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.21, p.2413-2420, 2013.

SARTO, M.V.M.; LANA, M.C.; RAMPIM, L.; ROSSET, J.S.; DAL MOLIN, P.V. Desenvolvimento inicial do milho e atributos químicos do solo em função de diferentes doses de silicato de cálcio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, p. 22-31. 2012. (Suplemento).

SASSER, J. N. Root-knot nematodes: A global menace to crop production. **Plant Disease**, v. 64, p. 36-41, 1980.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G. H., DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v. 58, p.151-199, 1997.

SCHURT, D. A.; RODRIGUES, F. A.; REIS, R. D.; MOREIRA, W. R.; SOUZA, N. F. A.; SILVA, W. A. Resistência física de bainhas de plantas de arroz supridas com silício e infectadas por *Rhizoctonia solani*. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 4, p. 281-285, 2012.

SEEBOLD JR., K. W.; DATNOFF, L. E.; CORREAVICTORIA, F. J.; KUCHARÉK, T. A.; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. **Plant Disease**, v. 88, n. 3, p. 253-258, 2004.

SHARMA, R. D. Plantas suscetíveis a *Meloidogyne javanica* do Distrito Federal, Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FITOPATOLOGIA, Itabuna, 1979. **Fitopatologia Brasileira**, v. 4, n. 1, p. 150, 1979.

SIDDIQUI, Z. A. Effects of plant growth promoting bacteria and composed organic fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and tomato growth. **Bioresource Technology**, v.95, p. 223-227, 2004.

SIDDIQUI, I. A.; SHAUKAT, S. S. Systemic resistance in tomato induced by biocontrol bacteria against the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* is independent of salicylic acid production. **Journal of Phytopathology**, v.152, n.1, p.48-54, 2004.

SIDDIQUI, Z. A.; MAHMOOD, I. Effects of rhizobacteria and root symbionts on the reproduction of *Meloidogyne javanica* and growth of chickpea. **Bioresource Technology**, v.79, p.41-45, 2001.

SILVA, R. A.; GOMES FILHO, G. A.; ALCÂNTARA, N. R. S. Reações de Cultivares de Arroz a *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 35, n. 3-4, 2011.

SILVA, C. C.; DEL PELOSO, M. J. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Central-brasileira 2005-2007**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 139p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, 193).

SILVA, M. G.; SHARMA, R. D.; JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, C. M. Efeito da solarização, adubação química e orgânica no controle de nematoides em alface sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p.489-494, 2006.

SILVA, L.H.C.P.; CAMPOS, J.R.; DUTRA, M.R.; CAMPOS, V.P. Aumento da resistência de cultivares de tomate a *Meloidogyne incognita* com aplicações do Acibenzolar-S-Metil. **Nematologia Brasileira**, v.28, n.2, p. 199-206, 2004a.

SILVA, A.R.; SANTOS, M. A.; LEITE, M.T. Reprodução de nematoides de galhas em cinco cultivares de arroz de terras altas. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 3, p. 9-12, 2004b.

SILVA, J. F. V. Resistência Genética de Soja a Nematoides do Gênero *Meloidogyne*. In: SILVA, J. F. V. (org.). **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2001. cap.4, p. 95-119.

SILVA, J. F. V.; DIAS, D. P.; MANZOTE, U.; GOMES, J. Produção de grãos em ambiente com nematoides de galhas. In: Seminário Nacional de Milho Safrinha, 6., Conferência Nacional de Pós Colheita, 2., Londrina, 2001. **Anais...**Londrina: IAPAR, jul. 2001.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007.72p. (Cadernos Didáticos,96),

TAVARES, G. M.; LARANJEIRA, D.; LUZ, E. D. M. N.; SILVA, T. R.; PIROVANI, C. P.; RESENDE, M. L. V. de; RIBEIRO JUNIOR, P. M. Indução de resistência do mamoeiro à podridão radicular por indutores bióticos e abióticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1416-1423, nov. 2009.

TERRY, L. A.; JOYCE, D. C. Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 32, p. 1-13, 2004.

TUZUN, S.;KLOEPPER, J. W. Potential applications of plant growth-promoting rhizobacteria to induced systemic disease resistance. In: REUVENI, R. (Ed). **Novel Approaches to Integrated Pest Management**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p. 115-127.

VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review Phytopathology**, v. 36, p. 453-483, 1998.

VAN-PEER, R.; NIEMANN, G. J.; SCHIPPERS, B. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of fusarium wilt of carnation by *Pseudomonas* sp. strain WCS417r. **Phytopathology**, v.81, p. 728-734, 1991.

WALLING, I. Induced resistance: from de basic to the applied. **Trends in Plant Sciences**, v. 6, n. 10, p. 445-447, 2001.

WEI, G.; KLOEPPER, J. W.; TUZUN, S. Induced systemic resistance to cucumber diseases and increased plant growth by plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. **Phytopathology**, v.86, p. 221-224, 1996.

WIGGERS, R. J.; STAR, J. L.; PRICE, H. J. DNA content and variation in chromosome number in plant calls affected by *Meloidogyne incognita* and *M. arenaria*. **Phytopathology**, v. 80, p. 1391-1395, 1990.

WILLIANSO, W. M.; HUSSEY, R. S. Nematode Pathogenesis and Resistance in Plants. **The Plant Cell**, v.8, p.1735-1745, oct. 1996.

WILLIAMSON, V. M.; ROBERTS, P. A. Mechanisms and genetics of resistance. In: PERRY, R.N.; MOENS, M.; STARR, J.L. **Root-knot nematodes**. London: CAB International, 2009. cap.13, p.301-325.

WINSLOW, M. D. Silicon, Disease Resistance, and Yield of Rice Genotypes under Upland Cultural Conditions. **Crop Science**, v. 32, p. 1208-1213, 1992.

YORINORI, J. T. Riscos de surgimento de novas doenças na cultura da soja. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1., 2000, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 165-169.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Science Series**, v.15, p.1-58, 1965.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; ÁVILA, V. T. de; KORNDÖRFER, G. H. Absorção de cálcio e ferro por arroz cultivado em solução nutritiva com doses de silício e manganês. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.3, p.263-269, may/jun. 2010.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; ÁVILA, V. T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 203-206, fev. 2009.



## CAPÍTULO 1

Influência de Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e evolastonita na penetração e desenvolvimento de juvenis de *Meloidogyne javanica* em poáceas e fabáceas

Influência de Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita, na penetração e desenvolvimento de juvenis de *Meloidogyne javanica* em poáceas e fabáceas

**RESUMO**

A utilização de silicatos destaca-se como forma de uso de cálcio e potássio pelo potencial de induzir resistência às plantas contra doenças. A atividade dos indutores contra nematoides geralmente resulta da paralisação do desenvolvimento de células nutritoras ou reação de hipersensibilidade. Desse modo, objetivou-se avaliar a penetração e o desenvolvimento de *M. javanica* em milho, arroz, feijão e soja, tratadas com três fontes de silício (Si) (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> e volastonita). Estas foram aplicadas na dose recomendada, resultando em um fatorial (3x4), com uma testemunha (água), [(3X4)+1]. Plântulas de arroz, feijão, milho e soja foram transplantadas e, após três dias, tratadas com as soluções de Silifort<sup>®</sup> e Rocksil<sup>®</sup>. A volastonita foi aplicada ao solo 10 dias antes do transplante, procedendo encharcamento do solo até o plantio. A inoculação foi realizada doze dias após o transplante, com 1000 ovos e eventuais juvenis (J2) de *M. javanica*. As plantas foram coletadas aos 3, 8, 13 e 18 dias após a inoculação (DAI) e as raízes foram pesadas e submetidas a coloração de nematoides e avaliação em microscópio óptico, quanto ao número de espécimes e estágio de desenvolvimento por grama de raiz. Os resultados mostraram que, as três fontes de silício desfavoreceram o desenvolvimento de *M. javanica* em soja, feijão e arroz, e reduziram a penetração em arroz; Silifort<sup>®</sup> e volastonita afetaram a penetração em feijão e soja, respectivamente. Nenhuma fonte de Si apresentou influência sobre as variáveis analisadas na cultura do milho. Apesar disso, pode-se observar o potencial das diferentes fontes para o manejo de *M. javanica*, visto a influência sobre a penetração e desenvolvimento do nematoide.

**Palavras-chave:** Indutores de resistência. Juvenis. Nematóide das galhas. Silicato.

Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> and wollastonite influence in the penetration and development of *Meloidogyne javanica* juveniles in poaceae and fabaceae

**ABSTRACT**

The use of silicates stands out as a form of phosphorus and potassium use, due potential to induce plants resistance against diseases. The activity of inductors against nematodes often results in standstill development of nurse cells or hypersensitivity reaction. Thus aimed to evaluate the penetration and development of *M. javanica* in maize and rice, accumulators, and common beans and soybeans, not silicon (Si) accumulator, treated with three sources of Si (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> and wollastonite). These were applied at the recommended dose, resulting in a factorial (3x4) with a control (water), [(3x4) +1]. Seedlings of rice, common beans, maize and soybeans were transplanted and, after three days, treated with solutions of Silifort<sup>®</sup> and Rocksil<sup>®</sup>. Wollastonite was apply to the soil 10 days prior to transplanting, soil drenching proceed to transplantation. Inoculation was perform twelve days after transplanting, with 1000 eggs and eventual juveniles (J2) of *M. javanica*. Plants were collected 3, 8, 13 and 18 days after inoculation (DAI) and the roots were weighed and subjected to staining nematodes and evaluation by optical microscopy, about the specimens number and stage of development per gram of root. Initially wollastonite promoted *M. javanica* penetration and development in rice and common beans, while in soybeans all treatments reduced the development, but only Silifort<sup>®</sup> reduced penetration. At 13 DAI wollastonite favored the development and penetration. At 18 DAI, rice, common beans and soybeans had less *M. javanica* development when treated with Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> and wollastonite. All silicon sources reduced penetration in rice, but only Silifort<sup>®</sup> and wollastonite affected penetration in common beans and soybeans, respectively. Maize showed no response to Si.

**Keywords:** Resistance inducers. Juveniles. Root-knot nematode. Silicate.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de nutrientes na redução da suscetibilidade e indução de resistência às doenças tem chamado a atenção de produtores e pesquisadores, pois atuam na formação de barreiras bioquímicas, físicas e no metabolismo das plantas, promovendo produção de compostos de defesa (FERREIRA, 2009). A falta ou excesso de nutrientes podem alterar o metabolismo celular (EPSTEIN e BLOOM, 2004), enquanto a boa nutrição reduz a incidência de pragas e doenças, por garantir melhor desenvolvimento das plantas (AGRIOS, 2005).

Dentre os nutrientes, o silício (Si) atua em diferentes processos metabólicos, havendo a hipótese de que ele pode ser responsável pela ativação de processos de indução de resistência, sendo comprovado que sua deposição nas paredes celulares confere maior resistência a degradação enzimática e reduz a intensidade e incidência de doenças (YOSHIDA, 1965; CARVER et al., 1987; KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995; RODRIGUES et al., 2001; BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002; TERRY e JOYCE, 2004), além de promover a ativação de barreiras químicas ou bioquímicas (EPSTEIN, 1999), potencializando mecanismos de defesa. Soma-se a isto o aumento de compostos fenólicos, fitoalexinas, ativação de genes e aumento da atividade de  $\beta$ -1,3 glucanase,  $\beta$ -glicosidases, fenil amônia liase, peroxidases, polifenol oxidase e de enzimas líticas ou associadas ao metabolismo secundário (CHÉRIF et al., 1994; FAWE et al., 1998; RODRIGUES et al., 2001; RODRIGUES et al., 2003; BÉLANGER e MENZIS, 2003; RODRIGUES et al., 2004; RODRIGUES et al., 2005; LIANG et al., 2005; DATNOFF et al., 2007).

A atividade de indutores de resistência contra nematoides geralmente ocasiona a paralisação do desenvolvimento de células nutridoras ou reação de hipersensibilidade, podendo-se observar a necrose no sítio de alimentação alguns dias após a infecção (BAKKER et al., 2006), o que pode causar paralisação ou atraso no desenvolvimento dos nematoides no sistema radicular. No caso do Si, uma das hipóteses para a defesa é o acúmulo na parede celular, formando barreira física, capaz de dificultar a penetração de patógenos na célula (TERRY e JOYCE, 2004) e potencialidade contra nematoides já foi comprovada em alguns patossistemas (DUTRA et al., 2004; GUIMARÃES et al., 2008; SILVA et al., 2010).

Os indutores também podem afetar a produção e a liberação de exsudatos radiculares e, por consequência, a atração e a penetração de nematoides no sistema

radicular. Isto pode ser observado no uso de rizobactérias promotoras do crescimento, as quais induzem resistência sistêmica, alterando os exsudatos radiculares ou induzindo a produção de substâncias repelentes, que afetam a atração ou o reconhecimento da planta hospedeira (OOSTENDORP e SIKORA, 1990).

As fontes de Si geralmente são advindas de escórias siderúrgicas por serem mais baratas e abundantes em silicatos. A solubilidade dessas é bastante variável, sendo aquelas provenientes de alto forno mais ricas, porém com pequena quantidade de Si solúvel, enquanto escórias de aciaria apresentam menores teores de Si, mas com maior teor de Si solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004). Esta diferença é importante, pois de acordo com Santos et al. (2010), a fonte de Si deve ser avaliada agronomicamente a partir da capacidade de disponibilização, uma vez que a eficiência de absorção de Si difere dependendo da fonte aplicada.

Segundo Oliveira (2009), plantas pertencentes a diferentes famílias possuem capacidade de resposta variável para o acúmulo de Si. Este potencial, medido de acordo com os percentuais de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) na matéria seca das plantas, é usado para classificar as plantas como acumuladoras (o arroz, com 10 a 15  $\text{dag.kg}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  no tecido vegetal), intermediárias (cereais e algumas dicotiledôneas, com 1 a 5  $\text{dag.kg}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  no tecido vegetal) ou não acumuladoras (a maioria das dicotiledôneas, com teores menores que 0,5  $\text{dag.kg}^{-1}$  de  $\text{SiO}_2$  no tecido vegetal) (MARSCHNER, 1995).

Desse modo, objetivou-se avaliar a penetração e o desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood no milho e arroz, consideradas acumuladoras, e no feijão e soja, não acumuladoras de Si, tratadas com diferentes fontes de Si.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus Regional de Umuarama, da Universidade Estadual de Maringá, em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial (3 x 4) + 1 [(produtos x culturas) + testemunha absoluta], com quatro repetições para cada tratamento.

Plântulas de feijão cv. BRS Ametista, arroz cv. BRS Bonança, soja cv. Pintado e milho cv. CD316HX foram produzidas em bandejas de poliestireno expansível de 128 células, utilizando o substrato comercial Bioplant<sup>®</sup>. Após quinze dias da semeadura, as mesmas foram transplantadas para copos plásticos com capacidade de 700mL preenchidos com solo autoclavado a 120°C por duas horas, sendo que cada copo constituiu uma unidade experimental.

Dois dias após o transplante, as plantas foram pulverizadas, separadamente, na parte aérea com as soluções Silifort<sup>®</sup> e Rocksil<sup>®</sup>, nas concentrações de 0,5 e 2% respectivamente, conforme recomendação do fabricante. A volastonita foi aplicada dez dias antes do transplante, sendo posteriormente realizada irrigação diária até ponto de encharcamento do solo, visando a disponibilização do Si. A dose aplicada foi calculada de acordo com a necessidade de calagem do solo, feita através da análise do solo após autoclavagem, sendo de 1,1 ton ha<sup>-1</sup>, para as culturas do feijão e da soja (fabáceas), para as quais visou-se elevar a saturação de bases a 70%, e a 0,86 ton ha<sup>-1</sup> para as culturas do milho e arroz (poáceas), tendo como objetivo elevar a saturação de bases a 60%. Esses cálculos foram feitos de acordo com as recomendações do Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997). Dessa forma, levando em conta o poder relativo de neutralização (PRNT) da volastonita, que é de 79,26%, a quantidade necessária para correção do solo foi equivalente a 1,4 ton ha<sup>-1</sup> e 1,1 ton ha<sup>-1</sup>, para correção dos 20 cm superficiais, para as fabáceas e poáceas, respectivamente, acarretou na correção de 2.000.000 L de solo. Desse modo, a dose utilizada para correção de 0,7L de solo da unidade experimental, foi equivalente à 0,5g e 0,4g de volastonita, para o plantio de fabáceas e poáceas, respectivamente. O tratamento com água foi utilizado como testemunha absoluta.

A inoculação do nematoide foi realizada doze dias após o transplante, sendo cada planta inoculada com população de 1000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica*. A população pura do nematoide foi obtida de raízes de tomateiro mantidos em casa de vegetação e extraída de acordo com a metodologia proposta por Hussey e Barker (1973), modificada por Boneti e Ferraz (1981). A suspensão

foi calibrada para 500 ovos + juvenism<sup>l</sup>-1, sendo distribuído 2 ml em dois orifícios, com aproximadamente 4 cm de profundidade, abertos no solo, de lados opostos da planta.

As avaliações da penetração do nematoide no sistema radicular foram realizadas aos três, oito, treze e dezoito dias após a inoculação (DAI). Para isso, as raízes foram coletadas, lavadas, colocadas sob papel absorvente para retirar o excesso de água e pesadas em balança analítica, determinando-se a massa fresca de raiz (MFR). Posteriormente, foram submetidas ao método de coloração de nematoides em tecido vegetal, proposto por Byrd et al. (1983). Os seguimentos das raízes foram prensados entre duas lâminas de microscopia e avaliados em microscópio óptico quanto ao número de espécimes e o estágio de desenvolvimento dos mesmos, classificando-os como juvenis de segundo estágio (J2), de terceiro ou quarto estágio (J3/J4), fêmeas e número total de nematoides, sendo todos os parâmetros divididos pela massa da raiz e expressos por grama de raiz.

Os dados obtidos foram transformados por  $\sqrt{(x + 1)}$  e submetidos à análise de variância. No caso de interação entre os fatores, procedeu-se o desdobramento, considerando a avaliação dos diferentes produtos dentro de cada cultura, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O mesmo teste foi utilizado para comparar as médias dos fatores isoladamente quando não houve interação. Vale ressaltar que não foi realizado o estudo comparando as diferentes culturas pelo fato de apresentarem sistemas radiculares distintos e suscetibilidade ao nematoide variada. As análises foram feitas utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

### 3 RESULTADOS

O teste F (Tabela 1) mostrou que, aos 3 DAI, a MFR foi influenciada pelos fatores estudados isoladamente ou pela interação entre eles e nesta época de avaliação só foram observados J2 nas amostras. Na avaliação realizada aos 8 DAI, a interação foi significativa para os parâmetros J2, J3/J4 e total de nematoide  $g^{-1}$  de raiz, mas não houve interação para a MFR, a qual foi influenciada apenas pelo fator produto (Tabela 1). Nenhuma interação foi significativa aos 13 DAI, porém houve diferença significativa para o fator produto dentro dos parâmetros J2, J3/J4 e total de nematoide  $g^{-1}$  de raiz, enquanto o fator cultura foi significativo para todos os parâmetros estudados. Por fim, aos 18 DAI pode-se observar significância para produto, cultura e para a interação em todas as variáveis analisadas, sendo esta a época em que se constatou a presença de fêmeas nas amostras (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F da análise de variância de produto, cultura e interação desses fatores para as variáveis: massa fresca de raiz (MFR); número de J2, J3/J4, fêmeas e total de nematoides  $g^{-1}$  de raiz, nas avaliações realizadas aos três, oito, 13 e 18 dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*.

	MFR	J2	J3/J4	Fêmeas	Total
3 DAI					
Produto (P)	0,02*	0,38 <sup>ns</sup>	-	-	0,38 <sup>ns</sup>
Cultura (C)	0,00*	0,40 <sup>ns</sup>	-	-	0,40 <sup>ns</sup>
P x C	0,02*	0,44 <sup>ns</sup>	-	-	0,44 <sup>ns</sup>
CV (%)	9,30	2,35	-	-	2,35
8 DAI					
Produto (P)	0,04*	0,13 <sup>ns</sup>	0,00*	-	0,00*
Cultura (C)	0,00*	0,00*	0,00*	-	0,00*
P x C	0,34 <sup>ns</sup>	0,04*	0,00*	-	0,00*
CV (%)	12,32	44,69	38,99	-	38,96
13 DAI					
Produto	0,44 <sup>ns</sup>	0,02*	0,00*	-	0,00*
Cultura	0,00*	0,00*	0,00*	-	0,00*
P x C	0,17 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-	0,14 <sup>ns</sup>
CV (%)	13,03	31,14	30,19	-	29,98
18 DAI					
Produto	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Cultura	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
P x C	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
CV (%)	11,19	34,65	18,65	21,58	17,67

\* e <sup>ns</sup> = significativo e não significativo à 5% de probabilidade, respectivamente; CV = coeficiente de variação.



No desdobramento dos produtos dentro de cada cultura, para o parâmetro MFR, constatou-se que para o feijão, aos 3 DAI, os maiores valores foram obtidos nos tratamentos com volastonita e água, enquanto para o milho e a soja maior MFR foi observada para o tratamento com Rocksil<sup>®</sup> e volastonita, respectivamente (Tabela 2). Aos 8 DAI, verificou-se que apenas os produtos alteraram a MFR, independente da cultura, contudo, o teste de Tukey não apontou diferenças entre as médias a 5% de probabilidade, sendo os valores iguais a 2,99, 2,84, 2,68 e 2,25 g para volastonita, Silifort<sup>®</sup>, água e Rocksil<sup>®</sup>, respectivamente (dados não apresentados). Como mencionado, não houve interação entre os fatores na avaliação aos 8 e 13 DAI. Aos 18 DAI, o milho apresentou maior MFR quando tratado com volastonita, enquanto o arroz foi favorecido pela aplicação de volastonita e Silifort<sup>®</sup> (Tabela 2).

Tabela 2. Desdobramento da interação dos produtos dentro das culturas para a variável massa fresca de raiz (g) aos três e dezoito dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*.

	Arroz	Feijão	Milho	Soja
3 DAI				
Silifort <sup>®</sup>	1,14 a	1,45 ab	2,03 b	1,43 b
Rocksil <sup>®</sup>	1,24 a	1,41 b	2,35 a	1,51 ab
Volastonita	1,20 a	1,68 a	2,07 b	1,69 a
Água	1,19 a	1,76 a	2,25 ab	1,36 b
DMS	0,26			
18 DAI				
Silifort <sup>®</sup>	2,17 a	1,77 a	2,71 b	2,00 a
Rocksil <sup>®</sup>	1,50 b	1,60 a	2,68 b	1,82 a
Volastonita	2,22 a	1,51 a	3,45 a	1,96 a
Água	1,64 b	1,86 a	2,59 b	1,79 a
DMS	0,41			

Dentro de cada época e cultura, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias transformadas por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

No estudo dos parâmetros nematológicos, o desdobramento dos produtos dentro de cada cultura mostrou que após 8 DAI não houve diferença para o número de J2 no arroz e no milho (Tabela 3). No feijão e na soja, maior número de J2 foi observado quando as plantas foram tratadas com volastonita e Rocksil<sup>®</sup>, respectivamente, sendo que os demais tratamentos não diferiram da testemunha (Tabela 3). O número de J3/J4 e o total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz foram superiores para o tratamento com volastonita na cultura do arroz e do feijão, enquanto na soja menor número de J3/J4 ocorreu para o Silifort<sup>®</sup> quando comparado a água, e menor número total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz quando tratada

com Silifort® (Tabela 3). Os produtos não alteraram os parâmetros nematológicos para a cultura do milho.

Tabela 3. Desdobramento da interação entre produtos e culturas para o número de J2, J3/J4 e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz, aos oito dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*.

	Arroz	Feijão	Milho	Soja
J2				
Silifort®	1,00 a	1,56 b	1,00 a	1,91 b
Rocksil®	1,00 a	1,77 b	1,00 a	3,44 a
Volastonita	1,22 a	3,09 a	1,07 a	2,13 b
Água	1,11 a	1,11 b	1,48 a	2,30 b
DMS	1,30			
J3/J4				
Silifort®	1,37 b	1,00 b	1,10 a	2,79 b
Rocksil®	1,13 b	2,13 b	1,00 a	6,12 a
Volastonita	3,45 a	6,17 a	1,52 a	4,68 a
Água	2,73 ab	1,49 b	1,30 a	6,65 a
DMS	1,82			
Total de nematoides				
Silifort®	1,37 b	1,56 b	1,10 a	3,38 b
Rocksil®	1,13 b	2,64 b	1,00 a	6,97 a
Volastonita	3,55 a	6,88 a	1,55 a	5,07 ab
Água	2,77 ab	1,54 b	1,69 a	7,07 a
DMS	2,03			

Dentro de cada parâmetro nematológico, médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias transformadas por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

Avaliando-se os tratamentos aos 13 DAI, constatou-se que a aplicação de volastonita resultou em maior número de J2, J3/J4 e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz quando comparado aos demais tratamentos e à testemunha (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito dos diferentes produtos à base de silício (Silifort®, Rocksil® e Volastonita) no número de J2, J3/J4 e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz, na avaliação aos treze dias após a inoculação com 1000 ovos de *Meloidogyne javanica*.

	J2	J3/J4	Total de nematoides
Silifort®	1,54 b	5,12 b	5,25 b
Rocksil®	1,62 ab	4,24 b	4,42 b
Volastonita	2,05 a	6,81 a	7,08 a
Água	1,46 b	4,71 b	4,85 b
DMS	0,47	1,41	1,40

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

Para as culturas, ainda aos 13 DAI, o número de J2, J3/J4 e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz foi maior na soja e no feijão, seguidas do arroz e do milho (Tabela 5).

Tabela 5. Número de juvenis de segundo estágio (J2), de terceiro ou quarto estágio (J3/J4) e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz, nas diferentes culturas avaliadas aos 13 dias após a inoculação com 1000 ovos de *M. javanica*.

	J2	J3/J4	Total de nematoides
Arroz	1,17 b	4,33 b	4,36 b
Feijão	1,38 b	7,11 a	7,22 a
Milho	1,04 b	1,87 c	1,89 c
Soja	3,36 a	8,23 a	8,86 a
DMS	0,60	1,79	1,78

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

Na avaliação aos 18 DAI, o número de J2 g<sup>-1</sup> de raiz aumentou na soja tratada com Rocksil<sup>®</sup> e foi reduzido quando tratada com volastonita (Tabela 6). O número de J3/J4 no arroz foi menor quando tratado com Rocksil<sup>®</sup>, seguido do tratamento com Silifort<sup>®</sup> e volastonita; para o feijão, menor média foi observada quando tratado com Silifort<sup>®</sup> e para a soja quando tratada com volastonita, quando comparados à testemunha (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação dos produtos dentro das culturas para o número de juvenis de segundo estádios (J2), terceiro ou quarto estádios (J3/J4), fêmeas e total de nematoides g<sup>-1</sup> de raiz, aos 18 dias após a inoculação com 1000 ovos de *M. javanica*.

	Arroz	Feijão	Milho	Soja
J2				
Silifort <sup>®</sup>	1,00 a	2,45 a	1,00 a	2,15 b
Rocksil <sup>®</sup>	1,00 a	3,37 a	1,00 a	4,21 a
Volastonita	1,00 a	3,47 a	1,00 a	1,52 c
Água	1,00 a	2,47 a	1,00 a	2,70 b
DMS			1,15	
J3/J4				
Silifort <sup>®</sup>	4,23 bc	7,88 c	2,14 a	8,68 ab
Rocksil <sup>®</sup>	2,37 c	9,24 bc	1,52 a	9,88 ab
Volastonita	5,17 b	14,36 a	2,65 a	8,03 b
Água	7,55 a	10,34 b	1,52 a	10,30 a
DMS			2,05	
Fêmeas				
Silifort <sup>®</sup>	1,20 a	2,02 c	1,00 a	3,33 ab
Rocksil <sup>®</sup>	1,00 a	2,63 c	1,00 a	2,71 b
Volastonita	1,77 a	6,53 a	1,23 a	2,46 b
Água	1,00 a	3,91 b	1,00 a	4,07 a
DMS			0,84	
Total de nematoides				

Silifort®	4,28 bc	8,39 c	2,14 a	9,43 ab
Rocksil®	2,37 c	10,11 bc	1,52 a	11,10 a
Volastonita	5,37 b	16,15 a	2,74 a	8,47 b
Água	7,55 a	11,27 b	1,52 a	11,32 a
DMS	2,09			

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

O número de fêmeas  $g^{-1}$  de raiz foi menor no feijão tratado com Silifort® e Rocksil® e na soja tratada com Rocksil® e volastonita, quando comparados a testemunha (Tabela 6). Todos os tratamentos reduziram o número total de nematoides  $g^{-1}$  de raiz no arroz, com melhores resultados para o Rocksil®. No feijão o melhor controle foi para o tratamento com Silifort®, enquanto na soja o menor valor ocorreu quando tratada com volastonita (Tabela 6).

#### 4 DISCUSSÃO

Notou-se que, apesar da soja ter apresentado aumento na MFR aos 3 DAI quando tratada com volastonita, não houve resposta para os demais períodos de avaliação. Contudo, em geral, a volastonita foi a fonte de Si que propiciou melhores resultados, aumentando também a MFR do arroz e do milho aos 18 DAI. Gomes et al. (2011), trabalhando com adubação silicatada em três classes distintas de solo, não observaram influência da fonte de Si sobre o acúmulo de massa seca de raiz, porém observaram que esta foi maior para o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), justamente aquele no qual verificaram maior teor de Si solúvel disponível, comprovando que a maior disponibilidade desse nutriente no solo favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular.

É notório que a aplicação de silicato eleva o pH do solo (ALCARDE, 2005) e pHs próximos a 6,0 tornam a disponibilidade de nutrientes em solução equilibrada, havendo, após a correção do solo, tendência à maior disponibilidade de nutrientes, os quais favorecem a nutrição das plantas e o crescimento do sistema radicular (OLIVEIRA et al., 2005). Contudo, esta reação necessita de aproximadamente 30 dias a partir da aplicação da fonte de Si, para que seja observada a estabilização do pH do solo (CHAVES e FARIAS, 2008), o que pode explicar os resultados obtidos para algumas culturas após 18 DAI, mesmo tendo sido utilizada volastonita com granulometria menor que 300 mesh, o que aumenta sua reatividade no solo (TEDESCO, 2004). Em estudo realizado por Oliveira (2009), plantas foram cultivadas em solução nutritiva com  $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$  de Si e, a partir do Si residual na solução, foi verificado que inicialmente as plantas de arroz e trigo (acumuladoras) absorveram 5 e 16% do Si disponível em solução, chegando a 90 e 60%, respectivamente, após 60 dias de cultivo, enquanto as não acumuladoras (feijão e soja), absorveram maior quantidade na primeira semana, em torno de 62 e 53% do que estava disponível na solução, sendo observada redução de absorção ao fim do ciclo, com 15 e 20% do Si disponível em solução para feijão e da soja, respectivamente.

Aos 3 DAI, foram observados apenas J2 nas amostras, o que condiz com resultados de trabalhos de penetração de nematoides das galhas realizados anteriormente (BRITO e FERRAZ, 1987; DIAS-ARIEIRA et al., 2002), podendo ser devido ao fato de que os nematoides foram inoculados na forma de ovos, sendo necessário um período hábil para que haja eclosão e penetração. Conforme Rocha e Campos (2003), juvenis de *M. incognita* (tiveram eclosão total após sete dias de incubação em água, sendo observada a

penetração de aproximadamente 60% dos espécimes após quatro dias da inoculação de ovos previamente incubados em água. A partir do 8º DAI, foram constatados J3/J4 nas amostras, corroborando observações anteriores (COSTA et al., 1998; DIAS-ARIEIRA et al., 2002).

Os produtos não alteraram a penetração do nematoide na cultura do arroz, mas todos os tratamentos reduziram o número de J3/J4 e total de nematoides após 18 DAI, evidenciando que, a exemplo do que foi constatado com outros produtos com ação indutora, a proteção não ocorre no momento da penetração, mas sim do desenvolvimento e reprodução dos nematoides das galhas (CHINNASRI et al., 2003; SALGADO et al., 2005; BAKKER et al., 2006; MOLINARI e BASER, 2010).

A resposta da cultura do arroz ao Si pode ser explicada pela capacidade de acúmulo de sílica no tecido, visto que Swain e Prasad (1988) observaram que cultivares de arroz que apresentaram maior acúmulo de sílica, especialmente no sistema radicular, tiveram maior grau de resistência a *M. graminicola* Golden e Birchfield. A resposta diferenciada de cultivares tratadas com Si à reprodução de nematoides também foi evidenciada em cana-de-açúcar, no patossistema envolvendo *P. zea* Graham (GUIMARÃES et al., 2008).

A penetração na cultura do milho foi baixa e tanto esta quanto o desenvolvimento não foram influenciados pela aplicação das diferentes fontes de Si. Conforme Pinto (2000), a reação de cultivares de milho a presença de *M. javanica* pode ser variável, favorecendo em alguns casos a redução e em outros o aumento da população. Outra hipótese para ausência de resposta está relacionada ao transporte e distribuição que foram feitos de acordo com a taxa transpiratória, uma vez que plantas acumuladoras de Si tendem ao acúmulo principalmente na parte aérea, onde pode ser constatado até 90% do elemento (MALAVOLTA, 1980; KORNDÖRFER et al., 1999).

As fabáceas apresentaram resultados diferentes daqueles observados para as poáceas. Em feijão, em geral, a aplicação de volastonita estimulou a penetração e o desenvolvimento do nematoide quando comparado à testemunha ou aos outros tratamentos à base de Si. Por outro lado, aos 18 DAI, as demais fontes de Si, especialmente o Silifort<sup>®</sup>, reduziram o número de nematoides. Estes resultados corroboram com outras pesquisas com feijoeiro, que mostraram que o cultivo em substrato contendo silicato de cálcio (4g Kg<sup>-1</sup> de substrato) não afetou a penetração de *M. incognita* e *M. javanica* sete dias após a inoculação, mas reduziu o número de ovos por

sistema radicular ao final do experimento (DUTRA et al., 2002), e com outras observações feitas em feijão, tomate e café por Dutra et al. (2004).

A soja, por sua vez, apresentou melhor resposta inicial ao tratamento com Silifort<sup>®</sup>, visto que aos 8 DAI este foi o tratamento que promoveu maiores reduções dos parâmetros nematológicos. Contudo, na avaliação aos 18 DAI, o tratamento com volastonita possibilitou o melhor resultado para o controle do desenvolvimento de *M. javanica*. A resposta da soja e do feijão pode ser devida à deposição do Si nas paredes das células das raízes, visto que, em dicotiledôneas como a soja, o Si acumula-se preferencialmente nas raízes (SANGSTER,1978; WUTCHER,1989), não sendo redistribuído via floema dentro da planta por precipitar-se na forma de SiO<sub>2</sub> (RAVEN, 1983).

O Rocksil<sup>®</sup> apresentou resultados pontuais para o controle do nematóide, quando, por exemplo, foi eficiente em reduzir o número de J3/J4 e total de nematoides por grama de raiz na cultura do arroz e fêmeas na cultura do feijão e da soja aos 18 DAI, quando comparado a testemunha. Assim, pode-se afirmar que o produto apresenta potencial para o manejo de nematoides, uma vez que a aplicação de Rocksil<sup>®</sup> em tomateiros promoveu redução do número de ovos e fator de reprodução de *M. incognita* (MELO et al., 2012) e foi eficiente na supressão de *M. enterolobii* Yang e Eisenback em quiabeiro, reduzindo o número de ovos em aproximadamente 90% (MONTELES et al., 2012). Um dos fatores que pode explicar a diferença obtida entre os experimentos é o período de condução, pois é possível que 18 dias de avaliação não tenham sido suficientes para que se visualizasse a resposta do hospedeiro.

Silva et al. (2010) mostraram que a resistência de cafeeiro tratado com Si à *M. exigua* foi devida à resposta de hipersensibilidade e defesas constitutivas e induzidas após penetração do nematoide, ocorrendo desintegração do sítio de alimentação, atraso ou inibição do desenvolvimento e reprodução. Sabe-se ainda que, apesar da maior parte do Si encontrar-se polimerizada ou solidificada, o papel do elemento na resistência a doenças é, principalmente, devido à fração de Si em solução dentro da planta, o que sugere a produção de compostos de defesa através da ativação da síntese de substâncias como fenóis, lignina, suberina e calose na parede celular (RODRIGUES e DATNOFF, 2005), além da produção de lignina e ao aumento na atividade de peroxidase (POX), polifenol oxidase (PPO) e fenilalanina amonialiase (PAL) (SILVA et al., 2010).

Vale ressaltar que em culturas anuais é impossível a aplicação de produtos com potencial indutor de resistência antes da infecção pelo nematoide, que já se encontra

presente no solo no momento da germinação. Contudo, tais produtos podem reduzir a vida útil dos sítios de alimentação em ciclos subsequentes, reduzindo assim a população final do nematoide, conforme observado em trabalhos anteriores (SILVA et al., 2004; PUERARI et al., 2013; PUERARI et al., 2015). Contudo, faz-se necessário estudos complementares a fim de elucidar como diferentes produtos, com solubilidades e teores de silício distintos, podem apresentar diferenças na absorção pelas plantas e desencadeamento dos mecanismos de defesa, assim como a resposta diferenciada de cada cultura e cultivar.



## 5 CONCLUSÕES

Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita desfavoreceram o desenvolvimento de *M. javanica* em soja, feijão e arroz.

Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita reduziram a penetração em arroz.

Silifort<sup>®</sup> e volastonita afetaram a penetração em feijão e soja, respectivamente.

Nenhum dos tratamentos afetou as variáveis analisadas na cultura do milho.

## 6 REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5. ed. Academic Press, New York, 2005. 922 p.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 2005. 24 p. (ANDA, Boletim Técnico, 6).
- BAKKER, E.; DEES, R.; BAKKER, J.; GOVERSE, A. Mechanisms involved in plant resistance to nematodes. In: TZUN, S.; BENT, E. (Eds.). **Multigenic and induced systemic resistance in plants**. New York: Springer Science, 2006. p. 314-334.
- BARBOSA FILHO, M. P.; PRABHU, A. S. (Org.). **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2002. 4p. (EMBRAPA. Circular Técnica 51).
- BÉLANGER, R. R.; MENZIES, J. G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. **Fitopatologia Brasileira**, Uberlândia, v. 28, p. S42-S45. 2003.
- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 553, 1981.
- BRITO, J. A.; FERRAZ, S. Antagonismo de *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* cv. 'Guiné' a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 270-285, 1987.
- BYRD, D. W.; KIRKPATRICK, T.; BARKER, K. R. An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 15, n. 1, p. 142-143, jan. 1983.
- CARVER, T. L. W.; ZEYEN, R. J.; AHLSTRAND, G. G. The relationship between insoluble silicon and success or failure of attempted primary penetration by powdery mildew (*Erysiphe graminis*) germinating on barley. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 31, p. 133-148, 1987.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Caatinga**, v. 21, n. 5 p. 75-82, dez. 2008.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p. 236-242, 1994.
- CHINNASRI, B.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Effect of acibenzolar-S-methyl application to *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne javanica*. **Journal of Nematology**, v. 35, n. 1, p. 110-114, 2003.
- COSTA, D. C.; FERRAZ, S.; CALDAS, R. C. Estudo comparativo da penetração e desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em raízes de guandu e tomateiro. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 80-86, 1998.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Eds.) **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. p. 233-246.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; MIZOBUTSI, E. H. Penetração e desenvolvimento de *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Heterodera glycines* em quatro gramíneas forrageiras. **Nematologia Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 35-41, 2002.

DUTRA, M. R.; GARCIA, A. L. A.; PAIVA, B. R. T. L.; ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito do Silício aplicado na semeadura do feijoeiro no controle de nematoide de galha. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 172. 2004.

DUTRA, M. R.; LEONEL, C. L.; CAMPOS, V. P. Silício no controle de nematoides em feijoeiro. In: CONGRESSO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA/FITOPATOLOGIA, 11, 2002. Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 44-47.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plants**. Sunderland: Sinauer Associates. 2004. 380p.

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

FAWE, A.; ABOUD-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v. 88, n. 5, p. 396-401, 1998.

FERREIRA, H. A. **Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*Cucumis melo* L.)**. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar versão 4.2**. DEX: UFLA. 2003.

GOMES, C. F.; MARCHETTI, M. E.; NOVELINO, J. O.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 531-538, out./dez. 2011.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; CHAVES, A.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MIRANDA, T. L. Efeito do metil jasmonato e silicato de potássio no parasitismo de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zae* em cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 50-55, 2008.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, Washington, v.57, n.12, p.1025-1028, dec. 1973.

HUSSEY, R. S.; WILLIAMSON, V. M. Physiological and molecular aspects on nematodes parasitism. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. (Eds.) **Plant and nematodes interactions**. Wisconsin: ASA-ESSA, 1998. p. 87-108.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: UFU, 2004. 50 p. (Boletim técnico, v.2).

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para arroz. IN: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1999. **Anais...** Pelotas: [s.n.], p. 313-316, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 70, p. 1-5, 1995.

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; SI, J.; RÖMHELD, V. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, v. 54, p. 678- 685, 2005.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. Londres: Academic Press, 1995. 889 p.

MELO, T. A.; SERRA, I. M. R. S.; SILVA, G. S.; SOUSA, R. M. S. Natural products applied to the management of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 3, p. 223-227, 2012.

MOLINARI, S.; BASER, N. Induction of resistance to root-knot nematodes by SAR elicitors in tomato. **Crop Protection**, v. 29, p. 1354-1362, 2010.

MONTELES, F. H. R.; SERRA, I. M. R. S.; SILVA, E. G.; RIBEIRO, J. G.; MELO, T. A.; ARAUJO, M. U. Indução de resistência a partir do uso de produtos naturais como estratégia de manejo de *Meloidogyne enterolobii* em quiabeiros. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, ago. 2012. (Suplemento).

OLIVEIRA, L. A. **Silício em plantas de feijão e arroz: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A. de P.; SANTOS, K. J. G. dos; MOREIRA, F.P. Considerações sobre a acidez dos solos do cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, ISSN 1808-8597, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.

OOSTENDORP, M.; SIKORA, R. A. In vitro interrelationship between rhizosphere bacteria and *Heterodera schachtii*. **Review of Nematology**, v. 13, n. 3, p. 269-274, 1990.

PINTO, N. E. J. A. Cultivo do milho: doenças causadas por nematoides. **Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção**, 5.ed. set. 2009. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/doencasnematoides.html](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/doencasnematoides.html)>. Acesso em: 28 fev. 2015.

PUERARI, H. H.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; CARDOSO, M. R.; HERNANDES, I.; BRITO, O. D. C. Resistance inducers in the control of root lesion nematodes in resistant and susceptible cultivars of maize. **Phytoparasitica**, jan. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12600-014-0447-9>>; Acesso em: 26 fev. 2015.

PUERARI, H. H.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; DADAZIO, T. S.; MATTEI, D.; SILVA, T. R. B. da; RIBEIRO, R. C. F. Evaluation of acibenzolar-S-methyl for the control of *Meloidogyne javanica* and effects on the development of susceptible and resistant soybean. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 1, p. 044-048, 2013.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronomico & Fundação IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicone in plants. **Biological Reviews**, v. 58, p. 179-207, 1983.

ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito de baixa dose de aldicarbe nos processos de eclosão a penetração de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 185-192, 2003.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon and rice disease management. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 487-469, 2005.

RODRIGUES, F. A.; JURICK, W. M.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; ROLLINS, J. A. Silicon influences cytological and molecular events in compatible and incompatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 66, p. 144-159, 2005.

RODRIGUES, F. A.; McNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, p. 177-183, 2004.

RODRIGUES, F. A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BÉLANGER, R. R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v. 93, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, v. 85, p. 827-832, 2001.

SALGADO, S. M. L.; SILVA, L. H. C. P. Potencial da indução de resistência no controle de fitonematóides. In: Cavalcanti, L. S.; DI Pietro, R. M.; Pascholati, S. F.; Resende, M. L. V.; Romeiro, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. v. 1, cap. 8, p. 155-168.

SANGSTER, A. G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal Botany**, v. 65, p. 929-935, 1978.

SANTOS, D. da S.; SILVA, V. A. da; KORNDÖRFER, G. H.; SILVA, J. C. da. Eficiência de fontes de silício para a cultura do arroz. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1, 2010.

SILVA, R. V.; OLIVEIRA, R. D. L.; NASCIMENTO, K. J. T.; RODRIGUES, F. A. Biochemical responses of coffee resistance against *Meloidogyne exigua* mediated by silicone. **Plant Pathology**, v. 59, p. 586-593, 2010.

SILVA, L. H. C. P.; CAMPOS, J. R.; DUTRA, M. R.; CAMPOS, V.P. Aumento da resistência de cultivares de tomate a *Meloidogyne incognita* com aplicação de acibenzolar-S-methyl. **Nematologia Brasileira**, v. 28, p.199-206, 2004.

SWAIN, B. N.; PRASAD, J. S. Influence of silica content in the roots of rice varieties on the resistance to root-knot nematodes. **Indian Journal of Nematology**, v. 18, p. 360-361, 1988.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI; BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; WIETHÖLTER, S. (Eds.) **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**.10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 2004. 400p.

TERRY, L. A.; JOYCE, D. C. Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 32, p. 1-13, 2004.

WUTSCHER, H. K. Growth and mineral nutrition of young orange trees grown with high levels of silicon. **HortScience**, v. 24, p. 275-277, 1989.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Science Series**, v. 15, p. 1-58, 1965.

## CAPÍTULO 2

Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* e produção de fitoalexinas em poáceas e fabáceas

## Fontes de silício para o controle de *Meloidogyne javanica* e produção de fitoalexinas em poáceas e fabáceas

### RESUMO

Os silicatos ganharam espaço na agricultura devido aos indícios de que o silício (Si) pode favorecer a produtividade e reduzir a incidência e severidade de doenças, tanto pelo aumento na rigidez da parede celular, como pelo potencial de induzir moléculas de defesa. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes de silício na reprodução de *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood em arroz, milho e sorgo, consideradas acumuladoras, no feijão e soja, não acumuladoras de Si, e na produção de fitoalexinas em feijão e sorgo. Para isso, dois experimentos diferentes foram realizados. No primeiro foram avaliadas três fontes de Si (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> e volastonita), em cinco culturas (arroz, feijão, milho, soja e sorgo), usando o tratamento com água como testemunha, resultando um arranjo fatorial (3x5)+1. Plântulas das respectivas espécies tratadas com as diferentes fontes de Si foram inoculadas com 2000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica*. Após 60 dias, avaliou-se a altura, massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR), nematoide por planta, nematoide g<sup>-1</sup> de raiz e fator de reprodução. Este experimento foi repetido em duas épocas distintas (experimentos 1 e 2). No outro experimento, avaliou-se a produção de fitoalexinas em feijão e sorgo, utilizando os tratamentos com silício mencionados e água como controle. Os resultados demonstraram que nenhum tratamento aumentou a altura, MSPA e MFR, independentemente da cultura. Também não interferiram na produção de fitoalexinas em feijão e sorgo. Todos os tratamentos promoveram redução no número de *M. javanica* por grama de raiz em soja, contudo não foram eficientes no manejo de nematoides nas demais culturas (arroz, feijão, milho e sorgo).

**Palavras-chave:** Indutores de resistência. Nematoide das galhas. Reprodução. Silicato.



## Sources of silicon to *Meloidogyne javanica* control and phytoalexin production in poaceae and fabaceae

### ABSTRACT

Silicates have gained space in agriculture due to evidence that silicon (Si) can promote productivity and reduce the incidence and severity of diseases, both by increasing cell wall rigidity, as by the potential to induce defense molecules. The objective was to evaluate the effect of different sources of silicon (Si) in the reproduction of *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood in rice, maize and sorghum, considered accumulators, and common beans and soybeans, not accumulators of Si, and the phytoalexins production in sorghum and common beans. For this, two different experiments were performed. The first one evaluated three sources of Si (Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> and wollastonite), in five crops (rice, common beans, maize, soybeans and sorghum), using water as control, resulting in a factorial arrangement (3x5) +1. Seedlings of the refer species treated with the different Si sources were inoculated with 2000 eggs and eventual second stage juveniles (J2) of *M. javanica*. After 60 days, the height, dry matter, fresh root, nematodes per plant, nematode g<sup>-1</sup> root and reproduction rate were evaluated. This experiment was repeated in two different times (Experiments 1 and 2). Another experiment evaluated production of phytoalexins in sorghum and common beans, using the Si treatments mentioned and water as control. Vegetative parameters of crops was not affected, except for the wollastonite treatment in sorghum in experiment 2. Soybeans showed reduction of nematodes g<sup>-1</sup> root for all treatments, while in other cultures there was no control of *M. javanica*. In phytoalexin analysis experiment, there was no statistical difference for the treatments, regardless of culture.

**Keywords:** Resistance inducers. Root-knot nematode. Reproduction. Silicate.

## 1 INTRODUÇÃO

A indução de resistência é uma proposta alternativa e promissora de controle de doenças, que visa ativar mecanismos de defesa pré-existentes nas plantas, pela aplicação de produtos bióticos ou abióticos não tóxicos (MARTINATI et al., 2007). Nesse contexto, o silício (Si) vem sendo estudado em mono e dicotiledôneas como possível indutor abiótico, por reduzir a incidência e severidade de doenças (MORAES et al., 2006).

O Si não é considerado um nutriente essencial, pois as plantas são capazes de completar o ciclo de vida sem a presença deste elemento (MALAVOLTA et al., 1997). No entanto, possui potencial na agricultura, pois a aplicação resulta em aumentos de produtividade, principalmente porque o fortalecimento das paredes celulares nas plantas reduz o acamamento (FILGUEIRAS, 2007), deixando a planta mais ereta de modo a favorecer a captação de luz, bem como melhora a nutrição da plantas, crescimento, produtividade e qualidade de sementes (BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002). Mesmo havendo relatos da resposta negativa das plantas ao Si com relação ao acúmulo de biomassa (CARVALHO, 2000; MAUAD et al., 2003), pesquisas mostraram que a carência deste elemento desencadeia redução na capacidade biológica da planta em resistir às condições adversas (RAFI et al., 1997; EXLEY, 1998).

A aplicação de silicato pode ser em parte aérea, pelo uso de produtos como o silicato de potássio (SALGADO et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2010), ou diretamente ao solo, atuando nesse caso como um corretivo de solo, elevando o pH do mesmo (ALCARDE, 2005). Neste caso, também ocorre a disponibilização do silício no solo. Este, por sua vez, pode ser absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) (FAQUIN, 2005).

A resposta de diferentes espécies em relação à absorção e ao acúmulo de Si é distinta, de modo que são classificadas como acumuladoras, intermediárias ou não-acumuladoras (MARSCHNER, 1995). Aquelas classificadas como não acumuladoras (como o tomate) tendem a acumular maior parte do Si absorvido nas raízes, ou de forma uniformemente distribuída pelo corpo da planta, enquanto as acumuladoras (como o arroz e outras gramíneas) apresentam quase totalidade do teor de Si acumulado na parte aérea (MALAVOLTA, 1980; MIYAKE e TAKAHASHI, 1985; KORNDÖRFER e GASCHO, 1999).

Independente da fonte e forma aplicada ou da cultura, o aumento da resistência das plantas devido ao uso de Si é atribuída à capacidade de polimerização e acúmulo nas

paredes celulares, promovendo maior rigidez dos tecidos (EPSTEIN e BLOOM, 2004), além de ter potencial para induzir moléculas relacionadas à defesa, como taninos, lignina (GOMES et al., 2009), enzimas, como  $\beta$ -1,3-glucanase (GUIMARÃES et al., 2010), peroxidases, polifenoloxidasas e fenilalanina amônia-liase relacionadas com a síntese de compostos fenólicos (GOMES et al., 2005), bem como flavonoides e fitoalexinas (MEYER e KEEPING, 2000).

Fitoalexinas são compostos antimicrobianos de reduzido peso molecular (PAXTON, 1981), cuja produção pode ser induzida por elicitores bióticos ou abióticos, sendo sintetizados pelas vias metabólicas do acetato-malonato, acetato-mevalonato e acetato-shiquimato (PASCHOLATI e LEITE, 1995). Segundo Keen (1990), altos níveis de fitoalexinas são observados em plantas resistentes, o que é acompanhado pelo aumento das enzimas que atuam na sua rota de síntese.

A ativação dos mecanismos de resistência nas plantas, por meio de indutores, geralmente desvia o metabolismo, realocando gasto de energia, o que pode causar perda de produção (MENDES et al., 2011). Já o Si, aparentemente, induz mecanismos de defesa apenas quando a planta é atacada pelo patógeno, havendo uma rápida e prolongada resposta de defesa, a qual não é específica, ou seja, atua contra vários patógenos (CHÉRIF et al., 1994). Neste contexto, a atividade do Si contra nematoides foi comprovada em alguns patossistemas, como *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood e *M. incognita* (Kofoid e White) Chitwood – feijão (DUTRA et al., 2004), *Heterodera glycines* Ichinohe - soja, *Meloidogyne* - pepino, alface e tomateiro (FREIRE, 2007), *M. incognita* - cana de açúcar (GUIMARÃES et al., 2010), *M. javanica* -banana (OLIVEIRA et al., 2012).

Apesar dos resultados já obtidos para o manejo de nematoides utilizando Si, existe a necessidade de estudar a resposta das diferentes culturas às mais diversas fontes disponíveis no mercado. Desse modo, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes de silício na reprodução de *M. javanica* em arroz, milho e sorgo, consideradas acumuladoras, e no feijão e soja, não acumuladoras de Si, e na produção de fitoalexinas em feijão e sorgo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. FONTES DE SILÍCIO NA REPRODUÇÃO DO NEMATOIDE

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação da Universidade Estadual de Maringá, no Campus Regional de Umuarama, em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial (3 x 5) + 1 [(produtos x culturas) + testemunha absoluta], com quatro repetições para cada tratamento. O experimento foi conduzido em duas épocas distintas, sendo o experimento 1 de 28/09/2014 a 24/12/2014 e o experimento 2 de 15/10/2014 a 10/01/2015.

Arroz cv. BRS Bonança, feijão cv. BRS Ametista, milho cv. CD316HX, soja cv. Pintado e sorgo cv. AG2501C foram semeados em bandejas de poliestireno expansível de 128 células, preenchidas com substrato comercial Bioplant<sup>®</sup>. Após quinze dias, as plântulas foram transplantadas para vasos com 1,5L de solo autoclavado (120°C por 2 horas). Cada vaso constituiu uma unidade experimental.

Os produtos utilizados foram Silifort<sup>®</sup> [à base de silicato de potássio (10% de Si e 10% de K<sub>2</sub>O)], Rocksil<sup>®</sup> [composto por dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>a 17,43%), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>a 20,56%), enxofre (9,82%), óxido de cálcio (CaO, 1,31%), dentre outros nutrientes (LIA, 2014)] e volastonita [silicato obtido de rochas, composto por silicatos de cálcio e magnésio, apresentando em sua composição 52% SiO<sub>2</sub>, 44% CaO, 0,30% MgO e 0,20% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ENERGYARC, 2014)]. Para conversão de SiO<sub>2</sub>a Si, multiplica-se o valor de SiO<sub>2</sub> por 0,4674 (fator de conversão) (INEN, 1975; BETTIOL, 2004), logo, tem-se que o Rocksil<sup>®</sup> e a volastonita possuem 8,15% e 24,31% de Si, respectivamente.

Dois dias após o transplante, as plantas foram pulverizadas, separadamente, na parte aérea com as soluções Silifort<sup>®</sup> e Rocksil<sup>®</sup>, nas concentrações de 0,5 e 2% respectivamente, conforme recomendação do fabricante. A volastonita foi aplicada 10 dias antes do transplante, diretamente ao solo, com incorporação, realizando-se, posteriormente, o encharcamento diário do solo, até o transplante, visando a disponibilização do Si. A dose de volastonita foi calculada segundo a necessidade de calagem, mediante análise química do solo realizada após autoclavagem, conforme as recomendações do Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997). Assim, considerando o poder relativo de neutralização (PRNT) da volastonita, 79,26%, e sabendo que cada unidade experimental era constituída por um vaso com 1,5L de solo, buscou-se elevar a saturação de bases a 70% para fabáceas e 60% para poáceas. Para isso, foi necessária a adição de

1,07g e 0,85g de volastonita, nas unidades que receberiam posteriormente as respectivas plantas.

A inoculação do nematoide foi realizada dez dias após o tratamento foliar, sendo cada planta inoculada com população de 2000 ovos e eventuais juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica*. A população pura do nematoide foi obtida de raízes de tomateiro mantidos em casa-de-vegetação, extraída de acordo com a metodologia proposta por Hussey e Barkey (1973), modificada por Boneti e Ferraz (1981). A suspensão foi contada em câmara de Peters sob microscópio óptico e calibrada para 500 ovos + juvenis ml<sup>-1</sup>, sendo distribuída em quatro orifícios, com aproximadamente 4 cm de profundidade, abertos no solo, de lados opostos da planta, visando a distribuição do inóculo de forma homogênea.

Após 60 dias da inoculação, as plantas foram coletadas, avaliando-se os parâmetros vegetativos altura da planta, massa seca da parte aérea (MSPA), obtida após secagem a 65°C, em estufa com circulação de ar forçada, até peso constante, e massa fresca de raiz (MFR). Posteriormente, os nematoides foram extraídos das raízes, conforme metodologia citada anteriormente, avaliando-se o número de nematoides por planta (NP), o qual foi dividido pela massa de raiz, obtendo-se número de nematoide por grama de raiz (NGR). O fator de reprodução (FR= população final/população inicial) foi determinado de acordo com Oostenbrink (1996).

Os dados obtidos foram transformados por  $\sqrt{(x+1)}$  e submetidos à análise de variância e, quando observada a interação dos fatores, procedeu-se a análise de desdobramento, considerando a avaliação dos diferentes produtos dentro de cada cultura. As médias dos fatores isolados ou dentro do desdobramento foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Vale ressaltar que não foi realizado o estudo comparando as diferentes culturas, pelo fato de apresentarem características de crescimento, acúmulo de massa e suscetibilidade ao nematoide distintas. As análises foram feitas utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

## 2.2. BIOENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE FITOALEXINAS

Os bioensaios foram realizados no laboratório de Fitopatologia, na Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional Umuarama, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento.

Sementes de sorgo cv. AG2501C foram desinfestadas em hipoclorito de sódio 1%, por 15 min, sendo, em seguida, lavadas em água destilada e enroladas em papel de germinação umedecido, procedendo a incubação no escuro a 28 °C por 96 h. Para paralisar a alongação dos mesocótilos, as plântulas formadas foram expostas à luz por 4 h (NICHOLSON et al., 1987). Na sequência, os mesocótilos foram excisados 0,5 cm acima do nó escutelar e colocados em tubos de ensaio (3 mesocótilos tubo<sup>-1</sup>).

Cada tubo recebeu 1 mL de solução de tratamento Silifort<sup>®</sup>, Rocksil<sup>®</sup> e volastonita, nas doses de 0,5%, 2% e 0,7g transplanting L<sup>-1</sup>, respectivamente, diluídos em água destilada, bem como o controle com água destilada.

Os tubos foram mantidos a 25°C em câmara úmida, sob luz fluorescente, durante 60 h (WULFF, 1998, 1999). Após isso, os mesocótilos foram secos, descartando-se os 5 mm basais. Os 2,5 cm seguintes foram pesados e cortados em segmentos de aproximadamente 5 mm, colocados em 1,4 mL de metanol 80% acidificado (0,1% HCl) em tubos de ensaio vedados que foram mantidos a 4 °C por 96 h para extração dos pigmentos. Em seguida, foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro com absorvância de 480 nm (NICHOLSON et al., 1987).

Para o estudo da produção de fitoalexinas em feijão, adotou-se a metodologia proposta por Dixon et al. (1983), com adaptações. Assim, sementes da cv. BRS Ametista foram desinfestadas em hipoclorito de sódio 1% por 5 min. e, em seguida, lavadas em água destilada, sendo semeadas em bandejas com areia autoclavada (120°C por duas horas, com repetição do procedimento após 24 h). As bandejas foram mantidas a 25°C no escuro por sete dias para obtenção de plântulas estioladas.

A partir das plântulas estioladas, os hipocótilos foram cortados em segmentos de aproximadamente 5 cm, que em seguida foram lavados em água destilada e secos. Quatro desses segmentos foram dispostos em placas de Petri contendo papel de germinação, os quais foram umedecidos com os tratamentos citados para o sorgo, que, em seguida, também foram pulverizados sobre os segmentos de hipocótilo, sendo que cada placa constituiu uma unidade experimental, sendo incubadas a 25°C no escuro, por 48 h. Posteriormente, os segmentos de hipocótilos foram pesados e segmentados em pedaços menores, com aproximadamente 5mm, depositados em tubos Falcon contendo 10 mL de etanol, os quais foram mantidos a 4 °C por 48 h para extração da fitoalexina.

Previamente à leitura, os tubos foram agitados durante uma hora, sendo a leitura realizada em espectrofotômetro com absorvância UV a 280 nm (BAILEY e BURDEN, 1983).

Os dados obtidos foram transformados por  $\sqrt{(x+1)}$  e submetidos à análise de variância, considerando a absorbância por massa fresca, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises foram feitas utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2003).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1. FONTES DE SILÍCIO NA REPRODUÇÃO DO NEMATOIDE

No experimento 1, o fator produto não apresentou significância quando analisado de forma independente, enquanto cultura apresentou significância de forma independente para todas as variáveis analisadas. Todas as variáveis, com exceção de NP apresentaram significância para a interação dos fatores. No experimento 2, o fator produto apresentou significância quando analisado de forma independente para as variáveis MFR, NP e FR, e cultura apresentou significância de forma independente para todas as variáveis analisadas. Com exceção da altura das plantas, houve significância para a interação dos fatores para todos os parâmetros (Tabela 7). No caso de significância para a interação, realizou-se o estudo dos produtos dentro de cada cultura.

Tabela 7. Valores de F da análise de variância de produto, cultura e interação desses fatores para as variáveis: altura de planta (Altura), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR), número de nematoides por planta (NP) e por grama de raiz (NGR) e fator de reprodução (FR), 60 dias após a inoculação com 2000 ovos de *M. javanica* nos experimentos 1 e 2.

	Altura	MSPA	MFR	NP	NGR	FR
Experimento 1						
Produto	0,36 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>
Cultura	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *
P x C	0,01 *	0,02 *	0,04 *	0,13 <sup>ns</sup>	0,01 *	0,15 <sup>ns</sup>
CV (%)	13,51	18,25	24,96	25,94	36,10	15,04
Experimento 2						
Produto	0,20 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 *	0,00 *	0,59 <sup>ns</sup>	0,00 *
Cultura	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *
P x C	0,92 <sup>ns</sup>	0,02 *	0,01 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *
CV (%)	13,82	16,57	17,67	22,05	31,38	12,02

\* e<sup>ns</sup> = significativo e não significativo à 5% de probabilidade, respectivamente; CV = coeficiente de variação; P = produto; C = cultura.

No experimento 1, não foi constatada diferença entre os tratamentos e a testemunha para a altura de plantas, independente da cultura estudada (Tabela 8). Já a MSPA apresentou menor valor para o sorgo quando tratado com Silifort<sup>®</sup> (experimento 1) e maior valor quando tratado com volastonita (experimento 2), se comparados à testemunha. Nas demais culturas, independente do experimento, os produtos não diferiram da testemunha com relação a MSPA acumulada. Os tratamentos não favoreceram o acúmulo de MFR, no experimento 1, independente da cultura; enquanto



no experimento 2, o tratamento com volastonita diferiu da testemunha, conferindo maior MFR para a cultura do sorgo.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre produtos e culturas para altura de plantas no experimento 1 e massa fresca de raiz e massa seca de parte aérea nos experimentos 1 e 2.

	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Altura					
Experimento 1					
	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Silifort®	8,43 a	8,68 ab	9,60 a	7,48 ab	10,15 a
Rocksil®	8,59 a	6,80 b	10,72 a	9,18 a	11,89 a
Volastonita	8,58 a	9,18 a	10,72 a	6,22 b	11,01 a
Água	8,26 a	8,32 ab	10,53 a	7,14 ab	11,34 a
DMS	2,12				
Massa Seca da Parte Aérea					
Experimento 1					
	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Silifort®	1,95 a	1,47 a	3,88 a	2,02 a	2,54 b
Rocksil®	1,71 a	1,44 a	3,61 a	1,70 ab	3,38 a
Volastonita	1,81 a	1,90 a	3,72 a	1,12 b	2,87 ab
Água	1,57 a	1,72 a	3,61 a	1,46 ab	3,37 a
DMS	0,73				
Experimento 2					
	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Silifort®	1,92 a	1,62 a	3,44 a	1,60 a	2,38 ab
Rocksil®	1,63 a	2,00 a	2,79 b	1,38 a	2,06 b
Volastonita	1,63 a	1,63 a	3,37 ab	1,50 a	2,97 a
Água	1,62 a	1,53 a	3,38 ab	1,53 a	2,30 b
DMS	0,61				
Massa Fresca de Raiz					
Experimento 1					
	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Silifort®	5,95 a	2,24 a	5,46 b	2,43 a	5,72 a
Rocksil®	3,56 b	2,27 a	6,89 ab	2,02 a	5,46 a
Volastonita	5,18 ab	3,27 a	7,70 a	1,97 a	6,71 a
Água	4,20 ab	2,67 a	6,62 ab	1,51 a	6,19 a
DMS	1,94				
Experimento 2					
	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Silifort®	4,91 ab	4,25 a	6,69 a	3,01 a	4,12 b
Rocksil®	3,53 b	3,96 a	6,78 a	2,63 a	3,79 b
Volastonita	5,23 a	3,48 a	7,39 a	2,62 a	6,04 a
Água	4,50 ab	3,06 a	6,59 a	2,69 a	4,26 b
DMS	1,38				

Dentro de cada parâmetro avaliado e para cada experimento, médias seguidas pela mesma letra na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias transformadas por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

Para as variáveis nematológicas, observou-se que, com exceção da soja, o tratamento com Silifort® promoveu aumento no número de nematoides por planta se

comparado a testemunha em todas as culturas, no experimento 2 (Tabela 9). A volastonita promoveu o mesmo nas culturas do sorgo e do feijão (experimento 2).

O número de nematoides  $g^{-1}$  de raiz foi reduzido na cultura da soja por todos os tratamentos, quando comparados a testemunha, com melhor controle para os tratamentos com Silifort® e volastonita (experimento 1). No experimento 2, maior número de nematoides  $g^{-1}$  de raiz foi observado nas culturas do arroz e feijão, quando tratados com Silifort® e volastonita, respectivamente (Tabela 9).

O fator de reprodução foi maior na cultura do arroz tratado com Silifort®, quando comparado à testemunha e demais tratamentos. O mesmo foi observado na cultura do feijão para Silifort® e volastonita. Nas demais culturas (milho, soja e sorgo), não foi observada diferença no FR (Tabela 9).

Tabela 9. Desdobramento da interação entre produtos e culturas para o número de nematoides por planta no experimento 2, número de nematoides por grama de raiz no experimento 1 e 2 e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* no experimento 2.

	Arroz	Feijão	Milho	Soja	Sorgo
Número de nematoides por planta					
Experimento 2					
Silifort®	83,52 a	80,07 a	44,74 a	50,93 a	41,27 a
Rocksil®	34,44 b	48,96 b	37,23 ab	61,29 a	37,65 ab
Volastonita	33,78 b	67,91 a	22,43 b	61,24 a	44,11 a
Água	41,23 b	41,34 b	35,25 b	46,47 a	22,01 b
DMS	18,89				
Número de nematoides $g^{-1}$ raiz					
Experimento 1					
Silifort®	4,27 a	24,77 a	10,63 a	18,41 c	20,47 a
Rocksil®	7,01 a	12,99 b	9,26 a	31,94 b	18,38 a
Volastonita	6,07 a	21,14 ab	8,23 a	20,86 c	15,23 a
Água	9,56 a	19,69 ab	9,72 a	50,69 a	11,61 a
DMS	9,48				
Experimento 2					
Silifort®	17,61 a	19,56 ab	6,97 a	18,00 b	10,38 a
Rocksil®	10,38 ab	12,77 b	5,62 a	26,64 a	10,48 a
Volastonita	7,19 b	29,30 a	3,24 a	25,62 a	7,64 a
Água	9,76 b	14,74 b	5,62 a	19,90 ab	5,38 a
DMS	7,37				
Fator de Reprodução					
Experimento 2					
Silifort®	2,12 a	2,05 a	1,42 a	1,52 a	1,37 a
Rocksil®	1,26 b	1,50 b	1,32 a	1,70 a	1,31 a
Volastonita	1,26 b	1,83 a	1,13 a	1,70 a	1,41 a
Água	1,37 b	1,36 b	1,28 a	1,46 a	1,12 a
DMS	0,32				

Dentro de cada parâmetro avaliado e para cada experimento, médias seguidas pela mesma letra na coluna não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias transformadas por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa.

### 3.2. BIOENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE FITOALEXINAS

Os tratamentos com diferentes fontes de silício não alteraram a produção de fitoalexinas nas culturas do feijão e do sorgo (Tabela 10).

Tabela 10. Análise da produção de fitoalexinas em feijão e sorgo em função da aplicação de diferentes produtos à base de silício (Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita).

Tratamento	Unidades de absorbância por massa fresca	
	Feijão	Sorgo
Rocksil <sup>®</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	6,08 <sup>ns</sup>
Silifort <sup>®</sup>	1,83	5,00
Volastonita	1,73	6,15
Água	1,78	6,11
DMS	0,14	2,91
CV(%)	3,71	23,74

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados por  $\sqrt{(x+1)}$ . DMS = diferença mínima significativa. CV = Coeficiente de variação.

## 4 DISCUSSÃO

Os tratamentos com diferentes fontes de silício não alteraram a altura das plantas, se comparadas à testemunha, independente da cultura estudada ou do experimento. No entanto, aumento na MSPA e MFR foi constatado no sorgo tratado com volastonita, a qual também aumentou a MFR do arroz e do milho, quando comparado ao Rocksil®. A resposta do sorgo ao uso de silicatos foi anteriormente relatada em trabalho sob estresse hídrico, em que diferentes cultivares tratadas com Si apresentaram maior acúmulo de massa seca se comparadas as plantas não tratadas (HATTORI et al., 2005). Do mesmo modo, trabalhos relatam a resposta do arroz ao tratamento com volastonita (RAMOS et al., 2008) e com silicato de cálcio (MAUAD et al., 2013), bem como ao cultivo em solo cujo teor de silício solúvel disponível era mais elevado (GOMES et al., 2011).

Culturas acumuladoras de Si, como o arroz, milho, sorgo e outras gramíneas, tendem a responder positivamente à aplicação de silício (RAIJ e CAMARGO, 1973). Apesar disso, outros autores não observaram efeito da adubação silicatada no acúmulo de massa seca na cultura do arroz (TOKURA et al., 2007; FARIA JUNIOR et al., 2009; MAUAD et al., 2011) e do milho (SARTO et al., 2012).

As plantas leguminosas estudadas neste trabalho não apresentaram incremento de massa seca de parte aérea ou fresca de raiz, diferindo de alguns relatos encontrados na literatura. Em soja, por exemplo, a aplicação foliar de silicato de potássio promoveu incremento de produtividade e massa seca produzida (MOREIRA et al., 2010), enquanto a adubação silicatada via solo aumentou a altura das plantas, porém sem diferenças para a produtividade (PEREIRA JUNIOR, 2008). No feijão, maior massa seca das plantas foi observada quando realizada a aplicação de silicatos ao solo (HORST e MARSCHNER, 1978), o que, segundo os autores, seria decorrente da redução da toxidez causada por manganês.

Vários fatores podem interferir na resposta da planta à aplicação de silício, incluindo a fonte utilizada, a dosagem (BERNI e PRABHU, 2003; RAMOS et al., 2008), a espécie vegetal (SÁVIO et al., 2011), ou mesmo as cultivares (TEIXEIRA et al., 2008). Com relação à aplicação de diferentes fontes de silício, a maioria das pesquisas aborda aspectos relacionados ao controle de pragas e doenças, havendo poucas informações relativas à resposta da planta a diferentes produtos (MAUAD et al., 2011), com divergências de resultados em relação ao acúmulo de massa seca pelas plantas submetidas à adubação silicatada (MAUAD et al., 2013).

No caso do presente trabalho, a falta de resposta no que se refere aos parâmetros vegetativos, também pode estar relacionada ao curto período de incubação, pois, para a volastonita, alguns autores recomendam aplicação 30 dias de antes ao plantio (SOUZA et al., 2005), para que ocorram as reações de disponibilização e estabilização do pH no solo (CHAVES e FARIAS, 2008) e, desta forma, que a neutralização de cargas favoreça a disponibilidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2005).

Quanto aos parâmetros nematológicos, observou-se que todas as fontes de silício foram eficientes em reduzir *M. javanica* g<sup>-1</sup> de raiz na cultura da soja, principalmente quando tratada com Silifort<sup>®</sup> e volastonita. Semelhantemente, a aplicação de silicato de potássio na dose de 1,6 mLdm<sup>-3</sup> reduziu a reprodução de *Heterodera glycines* Ichinohe em 75% na cultura da soja (FREIRE, 2007). Dutra et al. (2004) observaram redução no número de galhas e ovos de *Meloidogyne*, nas culturas do feijão, tomate e café, quando tratados com silicato de cálcio, atribuindo os resultados ao estímulo à produção de enzimas e compostos relacionados aos mecanismos de defesa das plantas.

Em hortaliças, como o pepino, a alface e o tomate, a eficiência do Si no controle de nematoides das galhas também foi comprovada, havendo redução de 60% no número de ovos de *M. javanica* e *M. incognita* em pepineiro, quando aplicados silicato de cálcio ou silicato de potássio, nas doses de 2,0 g ou 3,2 mL dm<sup>-3</sup> de solo, respectivamente. Em alface e tomateiro, o fator de reprodução de *M. incognita* foi reduzido em 80 e 50%, quando tratados com 3,2 mL dm<sup>-3</sup> de silicato de potássio e 4,0 g dm<sup>-3</sup> de silicato de cálcio, respectivamente (FREIRE, 2007).

Outro efeito observado no uso de silicato de potássio foi o potencial de reduzir a eclosão de juvenis de *M. exigua* Goeldi, quando utilizado nas doses de 5,0 mL L<sup>-1</sup>, 7,5 mL L<sup>-1</sup> e 10,0 mL L<sup>-1</sup>, porém, o mesmo não afetou a mortalidade após 24 h da exposição dos juvenis à solução, independentemente da dose (SALGADO et al., 2007).

Apesar dos resultados positivos obtidos para o controle do nematoide na soja, as plantas de feijão, quando tratado com volastonita, apresentaram maior média para nematoides por planta, nematoides g<sup>-1</sup> de raiz e FR, sendo nematoides por planta e fator de reprodução favorecidos pela aplicação de Silifort<sup>®</sup> (experimento 2).

Resultados semelhantes foram observados nas poáceas, uma vez que todas elas apresentaram maior número de nematoides por planta quando tratadas com Silifort<sup>®</sup>, o qual aumentou também o número de nematoide g<sup>-1</sup> de raiz e FR no arroz. Além deste, a volastonita promoveu aumento no número de nematoides por plantas na cultura do sorgo.

Apesar disso, no milho e no sorgo o fator de reprodução não diferiu estatisticamente da testemunha.

Mauad et al. (2003) acreditam que a ausência de resposta à adubação silicatada pode estar relacionada à carga genética das cultivares, que, sendo variável, torna muitas vezes desconhecido o potencial de resposta das mesmas ao Si. Isso pode ser confirmado por um estudo realizado por Lux et al. (2002), em um processo de silificação em cultivares de sorgo com tolerâncias distintas à seca, em que a microanálise de raios-X revelaram o acúmulo do Si na raiz, principalmente nas paredes das células da endoderme, formando protuberâncias. Essa silificação também foi observada nas folhas. Apesar disso, o acúmulo de Si na cultivar resistente à seca (Gadambalia) foi maior que aquele observado para a cultivar suscetível (Tabat). Além do fator genético, outros fatores como a dose, época e método de aplicação podem afetar a eficiência da indução de resistência em plantas contra nematoides (OWEN et al., 1998; OWEN et al., 2002; MOLINARI e BASER, 2010).

A produção de fitoalexinas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos em ambas as culturas avaliadas (feijão e sorgo). A provável falta de resposta das referidas culturas pode ser explicada pela ativação dos mecanismos de resistência relacionados à aplicação do Si ocorrerem após a infecção pelo patógeno (CHÉRIF et al., 1994). Desse modo, acredita-se que caso seja realizada a análise antes e posterior à inoculação será observado o aumento da concentração de fitoalexinas presentes nas plantas tratadas com silício, sendo este maior que aquele apresentado nas plantas não tratadas.

Além disto, a resposta à aplicação dos produtos é variável em diferentes espécies e cultivares, conforme apresentado por Janegitz et al. (2012), no trabalho visando o controle de *M. javanica*, em que a aplicação de 1,4 mM de cis-jasmone aumentou a atividade da PAL, 96 e 120 h após a pulverização na cultivar suscetível de soja, enquanto a fitoalexina coumestrol foi induzida a partir de 48 h, aumentando linearmente até 144h após a pulverização na cultivar resistente, porém na suscetível permaneceu em teor reduzido até 120 h. Tais resultados demonstram que diferenças relacionadas ao material genético podem alterar o período de resposta relativo à ativação dos mecanismos de defesa.

## 5 CONCLUSÕES

Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita promoveram redução no número de *M. javanica* por grama de raiz em soja, experimento 1. Contudo não foram eficientes no manejo de nematoides nas demais culturas (arroz, feijão, milho e sorgo).

Nenhum tratamento aumentou a altura, MSPA e MFR, independentemente da cultura.

Os tratamentos com diferentes fontes de silício não tiveram efeito na produção de fitoalexinas em feijão e sorgo.

## 6 REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5. Ed. Academic Press, New York, 2005. 922p.
- BAILEY, J.A.; BURDEN, R.S. Biochemical changes and phytoalexin accumulation in *Phaseolus vulgaris* following cellular browning caused by tobacco necrosis virus. **Physiological Plant Pathology**, London, v.3, n.1, p.171-177, 1983.
- BERNI, R. F.; PRABHU, A. S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 195-201, fev. 2003.
- BETTIOL, V. R. **Estudo da influência do ClO<sub>2</sub> sobre membranas de poliamida para osmose inversa**. 2004. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 553, 1981.
- CARVALHO, J. C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura de arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. 2000. 119f. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de São Paulo – Botucatu, 2000.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Caatinga**, v. 21, n. 5 p. 75-82, dez. 2008.
- CHÉRIF, A.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p. 236-242, 1994.
- DIXON, R.A. et al. Phytoalexin induction in french bean: intercellular transmission of elicitation in cell suspension cultures and hypocotyl sections of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, v.71, n.2, p.251-256, 1983.
- DUTRA, M. R.; GARCIA, A. I. A.; PAIVA, B. R. T. L.; ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito do silício aplicado na semeadura do feijoeiro no controle de nematoides das galhas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 172, 2004.
- ENERGYARC. **Wollastonite energyarc 325 Mesh**: composição química típica da wollastonite. Disponível em: <<http://catalogo.energyarc.com.br/item/wollastonite/wollastonite-energyarc-325-mesh/wollastonite-energyarc-325-mesh?>>. Acesso em: 26 ago. 2014.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Mineral Nutrition of Plants**. Sunderland: Sinauer Associates. 2004. 380p.



EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.69, p.139-144, 1998.

FARIA JUNIOR, L. A. de; CARVALHO, J. G. de; PINHO, P. J. de; BASTOS, A. R. R.; FERREIRA, E. V. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar versão 4.2**. DEX: UFLA. 2003.

FILGUEIRAS, O. Silício na agricultura: mineral é usado para controlar pragas, aumentar produtividade e qualidade de produtos agrícolas. **Pesquisa FAPESP: Agronomia**, v. 140, p. 72-74, out. 2007.

FREIRE, E. S. **Controle dos nematoides de galhas (*Meloidogyne spp.*) e do cisto (*Heterodera glycines*) com silicatos**. 2007. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2007.

GOMES, C. F.; MARCHETTI, M. E.; NOVELINO, J. O.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 531-538, out./dez. 2011.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 547-551, 2005.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; COUTO, E. F.; MARANHÃO, S. R. V. L.; CHAVES, A. Efficiency and enzymatic activity elicited by methyl jasmonate and potassium silicate on sugarcane under *Meloidogyne incognita* parasitism. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.11-15, 2010.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A.; Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v. 123, n. 4, p. 459-466, apr. 2005.

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, v. 50, n. 2, p. 287-303, 1978.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease reporter**, Washington, v.57, n.12, p.1025-1028, dec. 1973.

INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. **NTE INEN 0119 (1975)**: Acero y hierro fundido. Determinación del contenido total del silício Método gravimétrico. 1975. 8p.

Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0119.1975.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2015.

JANEGITZ, T.; VIEIRA, S. S.; GRAÇA, J. P.; UEDA, T.; SALVADOR, M. C.; LEMES, T.; OLIVEIRA, M. C. N.; DIAS, W.; FERRARESE-FILHO, O.; HOFFMANN-CAMPO, C.B. Indução de resistência de genótipos de soja a *Meloidogyne javanica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 20012, Cuiabá, **Anais...** Cuiabá: [s.n.], 2012.

KEEN, N. T. Phytoalexins and their elicitors. In: HOAGLAND, R. E. (Ed.). **Microbes and Microbial Products as Herbicides**. Washington, American Chemical Society. 1990. p. 114-129.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1999. **Anais...** Pelotas: [s.n.] p. 313-316. 1999.

LIA. **Dados técnicos do Rocksil**. 2014. Disponível em: <[http://www.liaagro.com.br/pt\\_br/nossos-produtos/dados-tecnicos.html?Itemid=51](http://www.liaagro.com.br/pt_br/nossos-produtos/dados-tecnicos.html?Itemid=51)>. Acesso em: 26 ago. 2014.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T.; INANAGA, S.; SUGIMOTO, Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 115, n. 1, p. 87-92, may. 2002.

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. Londres: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINATI, J. C.; LACAVAL, P. T.; MIYASAWA, S. K. S.; GUZZO, S. D.; AZEVEDO, J. L.; TSAI, S. M. Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *paucapor* meio de aplicação de benzotiadiazole e silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1083-1089, 2007.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; FILHO, H. G. Produção de massa seca e nutrição de cultivares de arroz de terras altas sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 939-948, jul/set. 2011.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORREA, J. C. Teores de silício do solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 04, p. 867-873, 2003.

MENDES, L. S.; SOUZA, C. H. E.; MACHADO, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrociências**, v. 2, p. 51-63, set. 2011.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. In: ANNUAL CONGRESS SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS, 74. 2000, [s.n.]. **Proceedings...** [s.n.]: South African Sugar Technologists Association, 2000, p. 29-40.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 31, p. 625-636, 1985.

MOLINARI, S.; BASER, N. Induction of resistance to root-knot nematodes by SAR elicitors in tomato. **Crop Protection**, v. 29, p. 1354-1362, 2010.

MORAES, S. R. G.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; LIMA, P. H.; BOTELHO, A. O. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 69-75, 2006.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

NICHOLSON, R. L.; KOLLIPARA, S. S.; VINCENT, J. R.; LYONS, P. C.; CADENA-GOMEZ, G. Phytoalexin synthesis by the sorghum mesocotyl in response to infection by pathogenic and nonpathogenic fungi. **Proceedings of the National Academy Science, USA**, v. 84, p. 5520-5524, 1987.

OLIVEIRA, R. M.; RIBEIRO, R. C. F.; XAVIER, A. A.; PIMENTA, L.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica* e desenvolvimento de mudas de bananeira prata-anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 407-415, 2012.

OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A. de P.; SANTOS, K. J. G. dos; MOREIRA, F.P. Considerações sobre a acidez dos solos do cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, ISSN 1808-8597, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.

OOSTENBRINK, M. Mejor characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededlingen voor Landbouwhogeschool**, Wageningen, v.66, p. 3-46, 1966.

OWEN, K. J.; GREEN, C. D.; DEVERALL, B. J. A. Benzothiadiazole applied to foliage reduces development and egg deposition by *Meloidogyne* spp. in glasshouse-grown grapevine roots. **Australasian Plant Pathology**, v. 31, p. 47-53, 2002.

OWEN, K. J.; GREEN, C. D.; DEVERALL, B. J. Systemic acquired resistance against root-knot nematodes in grapevines. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 7., Edinburg, 1998. **Proceedings...** Edinburg: International Society for Plant Pathology, 1998.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIN, L. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. v. 1, 1995. p. 417-453.

- PAXTON, J.D. Phytoalexins: a working redefinition. **Phytopathologische Zeitschrift**, v.101, p.106-109, 1981.
- PEREIRA JÚNIOR, P. **Doses de silício na produtividade de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e suas características agronômicas**. 2008. 28f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- RAFI, M. M.; EPSTEIN, E.; FALK, R.H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v.151, p.497-501, 1997.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronomico & Fundação IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.
- RAMOS, L. A.; KORNDÖFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008.
- SALGADO, S. M. L.; RESENDE, M. L. V.; CAMPOS, V. P. Efeito de indutores de resistência sobre *Meloidogyne exigua* do cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n.4, p. 1007-1013, 2007.
- SARTO, M. V. M.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; DAL MOLIN, P. V. Desenvolvimento inicial do milho e atributos químicos do solo em função de diferentes doses de silicato de cálcio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.11, p.22-31, 2012. (Suplemento).
- SÁVIO, F. L.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 103-110, jan./mar. 2011.
- SOUZA, F. F.; RAMALHO, A. R.; NUNES, A. M. L. Cultivo do feijão comum em Rondônia. **Embrapa Rondônia: Sistemas de Produção**, v. 8, dez. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijaoComumRO/>>. Acesso em: 04 jan. 2015.
- TEIXEIRA, I. R.; SILVA, R. P.; SILVA, A. G.; KORNDÖRFER, P. R. Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 562-568, out-dez, 2008.
- TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.
- WULFF, N. A.; PASCHOLATI, S. F. Caracterização parcial de elicitores de fitoalexinas em sorgo isolados de *Saccharomyces cerevisiae*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 428-435, 1999.

WULFF, N. A.; PASCHOLATI, S. F. Preparações de *Saccharomyces cerevisiae* elicitoras de fitoalexinas em mesocótilos de sorgo. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 1, p. 138-143, 1998.

## CONCLUSÕES

O primeiro estudo demonstrou que aos 18 DAI arroz, Rocksil<sup>®</sup>, Silifort<sup>®</sup> e volastonita suprimiram o desenvolvimento de *M. javanica* em feijão e soja, sendo eficientes em reduzir a penetração na cultura do arroz, porém apenas Silifort<sup>®</sup> e volastonita afetaram a penetração em feijão e soja, respectivamente. Os tratamentos não afetaram a penetração ou o desenvolvimento de *M. javanica* na cultura do milho, independente da época e variável nematológica analisada.

No segundo estudo, as variáveis vegetativas, de modo geral, não foram favorecidas pelos tratamentos. As diferentes fontes de Si avaliadas também não promoveram o controle do nematoide em arroz, feijão, milho e sorgo, ou a produção de fitoalexinas (feijão e sorgo). Apesar disso foi observada redução do número de nematoides g de raiz<sup>-1</sup> na soja tratada com Si, independente da fonte utilizada (experimento 1).

Mesmo não sendo obtidos resultados concisos a respeito da resposta da soja para a redução do número de nematoides g de raiz<sup>-1</sup>, e também sem observar controle nas demais culturas, observou-se no primeiro estudo o menor desenvolvimento e penetração em função da aplicação da aplicação de silício. Estes resultados podem ser considerados indícios do favorecimento ao controle de *M. javanica* promovidos pela aplicação das diferentes fontes de silício. Contudo, há necessidade da realização de outros estudos a respeito do ajuste da dose, produto e avaliação da necessidade de reaplicação, para cada cultura, sendo interessante também o conhecimento da resposta das diferentes cultivares.