



AMANDA MARIA NASCIMENTO

**INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM ARROZ A
Spodoptera frugiperda (J. E. SMITH, 1797)
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) PELA
APLICAÇÃO DE SILÍCIO**

LAVRAS – MG

2013

AMANDA MARIA NASCIMENTO

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM ARROZ A *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) PELA APLICAÇÃO DE SILÍCIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Jair Campos Moraes

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Nascimento, Amanda Maria.

Indução de resistência em arroz a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) pela aplicação de silício / Amanda Maria Nascimento. – Lavras : UFLA, 2013.

43 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Jair Campos Moraes.

Bibliografia.

1. *Oryza sativa* L. 2. Ácido silícico. 3. Antibiose. 4. Lagarta-do-cartucho. 5. MIP. 6. Não-preferência. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 595.781

AMANDA MARIA NASCIMENTO

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM ARROZ A *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) PELA APLICAÇÃO DE SILÍCIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2013

Dr^a. Lenira Viana Costa Santa-Cecília

EPAMIG- Campus Lavras

Dr. Rogério Antônio Silva

EPAMIG- Campus Lavras

Dr. Jair Campos Moraes
Orientador

LAVRAS - MG

2013

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jair Campos Moraes, pela orientação, ensinamentos e paciência.

A Franscinely, pelo apoio incondicional, pelo incentivo, pela amizade e imensa paciência.

A Irene, pela ajuda, orações e sua infinita bondade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas do laboratório, pela ajuda na condução dos experimentos e tornar ainda mais agradável nosso trabalho.

As minhas amigas, Mariana, Isabela, Taísa, Vivian, Paula, Maiara e Débora por estarem sempre ao meu lado, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, Alberty, Álvaro e Ariane por serem exemplos de caráter e ética.

Aos meus pais, Lúcia e Aquiles por serem os melhores pais, sem os quais este sonho nunca seria possível.

Aos meus sobrinhos, Alice, Anita, Augusto, Betina e Laura, por fazerem a vida ter mais sentido.

Ao Hélio, pela ajuda nos momentos de crise e companheirismo.

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o alimento básico de quase a metade da população mundial. Várias são as pragas que atacam essa cultura, sendo a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) uma delas. O controle desse inseto-praga é feito com aplicações sucessivas de inseticidas, no entanto, são encontrados vários casos de resistência a produtos fitossanitários, o que justifica a busca por outros métodos de controle para ser associados no manejo desse inseto. O objetivo neste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação do silício na indução de resistência de arroz a *S. frugiperda*. Os tratamentos foram: T1- Testemunha (sem aplicação de Si); T2-silício (drench) e T3- silício (foliar). O Si foi aplicado por meio de uma solução de ácido silícico a 1%, na dosagem equivalente a 3 t SiO₂ ha⁻¹. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e 10 repetições, sendo cada repetição constituída de cinco placas para avaliação de aspectos biológicos de *S. frugiperda*. Foram avaliadas as características vegetativas como: altura, teor de clorofila, massa fresca e seca da parte aérea e o teor de Si. Para avaliar mecanismos de não-preferência de *S. frugiperda* foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com os três tratamentos anteriores e 20 blocos em teste com chance de escolha. Foram liberadas 12 lagartas de 2º instar no centro das placas de Petri e após 24, 42 e 72h da infestação foram contadas as lagartas em cada tratamento. Após 72h também foi avaliada a área foliar consumida. Para o teste sem chance de escolha foi adotado o DIC com três tratamentos e 20 repetições, com liberação de 12 lagartas de 2º instar por placa de Petri e após 24h, 48h e 72h foi avaliada a porcentagem de sobrevivência. Não foram observadas diferenças na duração das fases larval e pupal, sobrevivência de lagartas, viabilidade de pupas e razão sexual. Insetos alimentados com plantas tratadas com Si apresentaram menor consumo, redução no peso de lagartas e de pupas, diminuição na longevidade de machos e fêmeas adultos e redução no número e viabilidade de 1ª e 2ª posturas quando comparadas ao controle. O Si interfere negativamente nos aspectos comportamentais e biológicos de *S. frugiperda* e, ainda, contribui com o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Ácido silícico. Antibiose. Não-preferência. MIP.

ABSTRACT

The rice (*Oryza sativa* L.) is the basic food of nearly half the world's population. There are several pests that attack this culture, and the *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is one of them. The control of this insect pest is done with successive applications of insecticides, however, are found several cases of resistance to pesticides, which justifies the search for other methods of control to be associated in the management of this insect. The aim of this study was to evaluate the effects of silicon application in rice induced resistance to *S. frugiperda*. The treatments were: T1-Control (without application of Si), silicon-T2 (drench) and T3-silicon (leaf). The Si was applied by a solution of silicic acid 1% at a dosage equivalent to 3 SiO₂ t ha⁻¹. It was adopted a completely randomized design with three replications and 10 treatments, each replicate consisting of five plots (50 plates / treatment) to evaluate biological aspects of *S. frugiperda*. Were evaluated the vegetative characteristics such as height, chlorophyll content, fresh and dry matter of aerial part and Si content. To assess mechanisms of non-preference of *S. frugiperda* was used a randomized block design with three prior treatments and 20 blocks in test-choice. Were released 12 caterpillars in 2nd instar on the center of Petri dishes and after 24, 42 and 72 h of infestation the caterpillars were counted for each treatment. After 72h was also evaluated the consumed leaf area. For the no-choice test was adopted a CRD with three treatments and 20 repetitions, with the release of 12 caterpillar on 2nd instar per dish and after 24h, 48h and 72h was evaluated survival percentage. There were no differences in the duration of larval and pupal, caterpillars survival, pupae viability and sex ratio. Insects fed on plants treated with Si showed lower consumption, reduction in larvae and pupae weight, decreased longevity of adult males and females and reduction in the number and viability of the 1st and 2nd oviposition when compared to control. The Si interferes negatively behavioral and biological the aspects of *S. frugiperda*, and also contributes with the development of the plants.

Key-words: *Oryza sativa* L. Silicic acid. Antibiosis. Non-preference. IPM.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	09
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Arroz.....	10
2.2	A lagarta <i>Spodoptera frugiperda</i>	11
2.3	Mecanismos de resistência.....	12
2.4	Silício na indução de resistência.....	13
2.5	Silício e a cultura de arroz.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1	Criação da lagarta <i>S. frugiperda</i>	16
3.2	Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> e desenvolvimento de plantas de arroz tratadas com silício.....	16
3.3	Preferência alimentar de <i>S. frugiperda</i> em plantas de arroz tratadas com silício.....	18
3.3.1	Teste com chance de escolha.....	18
3.3.2	Teste sem chance de escolha.....	19
3.4	Análise estatística.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1	Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> e desenvolvimento de plantas de arroz tratadas com silício.....	20
4.1.1	Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i>	20
4.1.1.1	Efeito do silício nas fases imaturas de <i>S. frugiperda</i>	20
4.1.1.2	Efeito do silício na fase adulta de <i>S. frugiperda</i>	23
4.1.2	Desenvolvimento vegetativo de plantas de arroz tratadas com Si.....	26
4.1.3	Correlação entre teor de Si foliar, parâmetros biológicos de <i>S. frugiperda</i> e desenvolvimento vegetativo de plantas de arroz.....	27
4.2	Preferência alimentar de <i>S. frugiperda</i> em plantas de arroz tratadas com silício.....	30
4.2.1	Teste com chance de escolha.....	30
4.2.2	Teste sem chance de escolha.....	32
5	CONCLUSÕES.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado uma das culturas mais importantes para a humanidade, constituindo o alimento básico de quase a metade da população mundial (JUNG; AN; RONALD, 2008). No Brasil, ocupa posição de destaque, do ponto de vista social e econômico (BUZETTI et al., 2006), sendo cultivado em praticamente todo o território nacional, em dois sistemas produtivos, com produtividade de, aproximadamente, 11,2 milhões de toneladas (ANUÁRIO..., 2011). Na região sul do país prevalece o cultivo irrigado por inundação e, no Cerrado, predominantemente nos estados do Mato Grosso, Maranhão e Pará, o arroz de terras altas (sequeiro).

Vários são os insetos-praga que atacam essa cultura, destacando-se a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), praga polífaga que se alimenta de milho, trigo, sorgo, algodão, feijão, cana-de-açúcar, amendoim e batata, entre outras culturas (CRUZ; FIGUEIREDO; MATOSO, 1999; CRUZ; TURPIN, 1982; LABRADOR, 1967). Em determinados anos, atinge níveis populacionais elevados, podendo destruir totalmente a lavoura de arroz (MARTINS; BOTTON, 1996).

Comumente, o controle da lagarta-do-cartucho é realizado utilizando-se produtos químicos (BUSATO et al., 2006; COSTA et al., 2005). No entanto, vários são os casos de resistência de pragas a inseticidas, o que também é observado em *S. frugiperda* (DIEZ-RODRIGUEZ; OMOTO, 2001; MORILLO; NOTZ, 2001; YU, 2006; YU; MCCORD JUNIOR, 2007). Dessa forma, torna-se imprescindível o estudo de táticas de manejo do inseto menos agressivas ao meio ambiente e que proporcionem elevada produção, tornando-se viável, economicamente e ambientalmente, o cultivo de arroz.

A resistência induzida, que consiste no aumento do nível de resistência da planta pela utilização de agentes externos (indutores), sem qualquer modificação no genoma da planta, é uma alternativa de controle de fácil manejo e baixo custo que pode ser associada ao controle químico de insetos-praga (STADNIK, 2000).

O silício pode conferir resistência das plantas aos insetos-praga, formando uma barreira mecânica passiva na planta (KORNDÖRFER; ABDALLA; BUENO, 2001) e a ativa induzida por esse elemento dentro das células vegetais, desencadeando reações que iniciam mecanismos de defesas bioquímicas (GOMES et al., 2005).

Nesse contexto, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação do silício na indução de resistência a *S. frugiperda* em arroz e nas características vegetativas das plantas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arroz

O arroz (*O. sativa* L.) é uma gramínea anual pertencente ao gênero *Oryza*, o qual inclui vinte espécies selvagens e duas espécies domesticadas, que são *O. sativa* (arroz asiático) e *O. glaberrima* (arroz africano). A espécie *O. sativa* é a mais cultivada mundialmente, ocupando o segundo lugar entre os cereais mais produzidos. Sua domesticação ocorreu há cerca de 10.000 anos, na Ásia (BAMBARADENIYA; AMARASINGHE, 2003; HEINRICHS, 1998; KHUSH, 1997; SILVA et al., 2007).

O ciclo de desenvolvimento da planta de arroz pode ser dividido em três fases: a fase vegetativa, que compreende a emergência até a diferenciação da panícula, a fase reprodutiva, que abrange a diferenciação da panícula até a antese, e a fase de enchimento de grãos, que se inicia na antese e termina na maturação fisiológica. A altura da planta pode variar pelas circunstâncias ambientais, podendo atingir de 40 cm a 5 m, dependendo do tipo de arroz produzido (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA, 2001; KHUSH, 1997; STRECK et al., 2006). No sudeste do Brasil são cultivados 53,1 mil ha de arroz, dos quais 61% se localizam em Minas Gerais (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012).

Há várias cultivares de arroz desenvolvidas para o cultivo de terras altas em Minas Gerais, como, por exemplo, 'Primavera', 'Canastra', 'Confiança' (SOARES et al., 1997, 2001), 'Caiapó' (SOARES; REIS; SOARES, 1993), 'Carisma' (SOARES et al., 2000) e 'BRSMG Caravera' (SOARES et al., 2008), entre outras.

A cultivar BRSMG Caravera utilizada nos bioensaios tem ciclo de maturação de 113 dias, alto potencial produtivo, grão tipo longo-fino de alta qualidade culinária, resistência ao acamamento e moderada resistência à brusone-da-panícula (SOARES et al., 2008).

2.2 A lagarta *Spodoptera frugiperda*

A lagarta-do-cartucho *S. frugiperda* é um inseto polífago, amplamente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais das Américas (ANDREWS, 1988). Já foi relatado que esse inseto é capaz de se alimentar de mais de 80 espécies de plantas (POGUE, 2002). No Brasil, é considerada praga chave do milho (BARROS et al., 2005; CRUZ et al., 2008), além de causar prejuízos a

outras culturas, tais como arroz (BUSATO et al., 2002), amendoim (ISIDRO; ALMEIDA; PEREIRA, 1997) e algodão (FERNANDES; BUSOLI; BARBOSA, 2002).

Na cultura de arroz, os danos causados consistem na destruição ou no enfraquecimento das plântulas, no corte de colmos rente ao solo, no desfolhamento de plantas desenvolvidas e nos danos às flores e às panículas (BUSATO et al., 2005).

O desenvolvimento de *S. frugiperda* é do tipo holometábolo, que compreende a fase de ovo, larva, pupa e adulto. Os ovos são de coloração verde clara, inicialmente e cinza, à medida que se aproxima da eclosão. São colocados em massa tanto na parte abaxial quanto adaxial da folha, de onde eclodem as larvas, que passarão por seis ou sete estádios, chegando ao desenvolvimento completo. O período de incubação é de 3 a 4 dias (CRUZ et al., 2008).

A lagarta chega a 50 mm de comprimento no último instar e apresenta coloração que varia de pardo-escuro, verde a até quase preta. A duração do período larval é variável de 12 a 30 dias (PINTO; PARRA; OLIVEIRA, 2004).

Ao término do período larval, as lagartas penetram no solo e se transformam em pupas, de coloração marrom-avermelhada, medindo em torno de 15 mm de comprimento (SARMENTO et al., 2002). O período pupal pode variar de 8 a 25 dias (PINTO; PARRA; OLIVEIRA, 2004).

Os adultos de *S. frugiperda* são de hábito noturno e chegam a ter 35 mm de envergadura (PINTO; PARRA; OLIVEIRA, 2004).

A incidência e a severidade da ocorrência de *S. frugiperda* nos arrozais dependem das condições climáticas, estando os grandes surtos associados com primaveras chuvosas seguidas de períodos secos (OLIVEIRA, 1987). O inseto atravessa o período desfavorável do ano na fase de pupa, surgindo os adultos na primavera (MARTINS; GRÜTZMACHER; CUNHA, 2004).

2.3 Mecanismos de resistência

A resistência de plantas a insetos é definida como a soma relativa de seus caracteres hereditários, os quais influenciam o resultado do grau de dano que o inseto causa, quando são cultivadas em igualdade de condições. Os mecanismos de resistência são classificados em não preferência ou antixenose, antibiose e tolerância (PAINTER, 1968).

Assis et al. (2011), avaliando o comportamento alimentar de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) em ensaios com e sem chance de escolha, verificaram que plantas de batateira tratadas com terra diatomácea apresentavam menos folíolos com injúrias, comparadas ao controle, isto é, as plantas não eram preferidas pelos insetos.

Já o mecanismo de antibiose é caracterizado por altas taxas de mortalidade, menor massa corporal e menor comprimento, quando comparadas ao tratamento controle, conforme observado para a lagarta *Eldana saccharina* Walker, 1865 (Lepidoptera: Pyralidae) em cana-de-açúcar tratada com silício (KVEDARAS et al., 2007).

Por outro lado, quando se comparam características das plantas, tem-se o mecanismo de tolerância. Em sorgo, os genótipos resistentes ao pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) apresentaram altura, peso seco e peso fresco das plantas significativamente superiores aos suscetíveis (FONSECA et al., 2004).

2.4 Silício na indução de resistência

A resistência induzida corresponde ao aumento da capacidade defensiva das plantas contra patógenos e insetos-praga, adquiridos após um estímulo

apropriado. Para o desencadeamento desse processo é preciso um indutor ou elicitor, que são agentes que induzem alguma resposta de defesa na planta, desde modificações celulares, fisiológicas e morfológicas até a ativação da transcrição dos genes que codificam as respostas de defesa, sem alteração no genoma da planta (DIXON; HARRISON; LAMB, 1994).

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta da Terra e tem sido considerado um elemento “quase essencial” para o crescimento da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2005). O silício pode proporcionar efeitos benéficos às plantas, como resistência a insetos e ao desenvolvimento e à penetração de fungos nos tecidos (EPSTEIN, 2001; MARSCHNER, 1995).

A proteção conferida às plantas pelo silício pode ser devida ao acúmulo e da polimerização de silicatos (sílica amorfa) nas células epidérmicas, abaixo da cutícula, formando uma barreira mecânica conhecida como dupla camada silício-cutícula (GOUSSAIN et al., 2002; YOSHIDA; OHNISHI; KITAGISHI, 1962) e também protege a planta por outros processos, que podem aumentar os mecanismos de defesa, incluindo o acúmulo de lignina, compostos fenólicos e fitoalexinas (EPSTEIN, 1999; MA; YAMAJI, 2006).

A silificação da epiderme dificulta a penetração e a mastigação pelos insetos, devido ao endurecimento da parede das células vegetais (DATNOFF; SNYDER; KORNDORFER, 2001). Também já foi comprovado que altos teores de sílica na planta podem aumentar a capacidade de defesa contra a herbivoria e a preferência ao consumo (HUNT et al., 2008; MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2007).

A absorção do Si da solução do solo pelas plantas ocorre quando este se encontra na forma de ácido silícico (H_4SiO_4) (TISDALE et al., 1993) e a concentração de Si nas plantas depende, principalmente, da disponibilidade deste ácido na solução do solo (DING et al., 2005; HENRIET et al., 2008).

Consideram-se plantas acumuladoras de Si aquelas com teores superiores a 1 g kg^{-1} de Si na massa seca, como o arroz e o trigo; plantas como soja e cucurbitáceas são consideradas intermediárias, com 0,5 a 1 g kg^{-1} de Si e as plantas não acumuladoras têm concentração de Si na massa seca inferior a $0,5 \text{ g kg}^{-1}$ (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

Dessa forma, o silício pode ser utilizado como indutor de resistência contra insetos-praga (GOMES et al., 2005; GOMES; MORAES; NERI, 2009; KVEDARAS et al., 2005).

2.5 Silício e a cultura de arroz

Segundo Makabe et al. (2009), a cultura de arroz pode absorver até 500 kg ha^{-1} por ano, comparada às florestas tropicais com $41\text{-}67 \text{ kg ha}^{-1}$, por ano (ALEXANDRE et al., 1997; LUCAS et al., 1993).

Korndörfer et al. (1999), avaliando a aplicação de Si em diferentes solos, observaram melhor nutrição e aumento na produção de carboidratos, no teor de clorofila, no número de panículas e na produção de grãos de arroz.

Tamai e Ma (2008), em ensaios a campo, avaliaram o crescimento e a produção de arroz em uma variedade mutante deficiente no gene de absorção de silício. Nessa variedade foi observada redução no teor de clorofila, que afetou o crescimento de raízes e o número de colmos, acarretando diminuição de 78% a 98% no rendimento de grãos.

Ma e Takahashi (2002), avaliando a indução de resistência para *Chilo suppressalis* (Walker, 1863) (Lepidoptera: Pyralidae) com hastes de arroz tratadas com diferentes dosagens de Si, observaram correlação negativa entre a quantidade de lagartas e o peso de fezes em relação à quantidade de Si nas hastes.

A infestação de broca-do-colo (*Elasmopalpus lignosellus*) (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae) foi reduzida consideravelmente com a adição de Si (NAKANO; ABE; HIRANO, 1961). Em viveiros de mudas de arroz fertilizadas com Si em forma de cinza de casca de arroz houve redução do número de plantas com coração morto por broca-do-colo na cultivar Jaya, após o transplântio (SAVANT; PATIL; SAVANT, 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Criação da lagarta *S. frugiperda*

As lagartas de *S. frugiperda* foram obtidas da criação estoque, mantida em laboratório e alimentadas com dieta artificial segundo Greene, Lepla e Dickerson (1976) e os adultos com solução aquosa de mel a 10%. Insetos coletados no campo foram adicionados frequentemente à criação para manter a variabilidade genética.

3.2 Aspectos biológicos de *S. frugiperda* e desenvolvimento de plantas de arroz tratadas com silício

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos, no Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras (latitude 21°45'S; longitude 45°00'W e altitude 918 m), Minas Gerais, Brasil, no período de junho a setembro de 2012.

O plantio de arroz foi realizado em vasos de 2 L preenchidos com 1,5 kg de solo do horizonte C (Latosolo Vermelho Escuro - LVe) adubado com 0,23 g

do adubo NPK (8-28-16) por vaso, equivalente a 300 kg ha⁻¹. Foram feitas adubações de cobertura com sulfato de amônio, aplicando-se 0,045 g de N por vaso, equivalente a 60 kg ha⁻¹, parceladas em duas vezes, no final da fase de perfilhamento, aos 30 e 60 dias após a emergência (SOARES et al., 2008).

Foram plantadas 20 sementes da cv. BRSMG Caravera por vaso, que foram mantidos sobre bancadas em casa de vegetação. As plantas foram irrigadas, a fim de suprir suas necessidades hídricas. Após cinco dias da germinação, as plantas foram desbastadas, deixando-se apenas oito plantas/vaso. Dessas oito plantas, três foram marcadas com fita para serem utilizadas nas avaliações das características vegetativas da planta.

Os tratamentos foram: T1- testemunha; T2- silício (*drench*) e T3- silício (foliar). O silício foi aplicado por meio de uma solução de ácido silícico (SiO₂.XH₂O) (Vetec Química Fina, Duque de Caxias, Brasil) a 1%, na dosagem equivalente a 3 t SiO₂ ha⁻¹. O ácido silícico (*drench*) foi aplicado ao redor das plantas, cinco dias após a emergência, diluindo-se 2,25 g de ácido silícico em 225 mL de água/vaso. Para a aplicação foliar foi utilizado um pulverizador manual com capacidade para 0,5 L, tendo o solo dos vasos sido recoberto com papel toalha antes da pulverização de 2,4 mL da solução/vaso, aos 10 e aos 20 dias após a emergência. Os vasos que constituíram o controle (testemunha) receberam água na mesma quantidade.

As seções foliares de arroz de 4 cm de comprimento foram destacadas das plantas, 10 dias após a última aplicação de silício e, antes de serem fornecidas às lagartas, foram lavadas em água destilada, retirando-se o excesso de umidade com toalha de papel. As lagartas recém-eclodidas foram transferidas para placas de Petri de 5 cm de diâmetro, com uma lagarta por placa. Os recipientes foram mantidos em câmara climatizada regulada com temperatura de 25±2 °C, umidade relativa 70±10% e fotofase de 12 horas. As seções foliares

foram trocadas a cada dois dias, sendo medida a área foliar, antes e após o fornecimento para as lagartas.

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 10 repetições, tendo cada parcela sido constituída de cinco placas.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: a) fase larval: peso aos 15 dias de idade, área foliar consumida, porcentagem de mortalidade e a duração da fase; b) fase de pupa: peso 24 horas após a formação de pupa, viabilidade e a duração da fase e c) fase adulta: longevidade, razão sexual, número e viabilidade de ovos da 1^o e 2^o posturas.

Para a determinação do consumo foliar pelas lagartas foi utilizado o medidor de área foliar AM300 (ADC Bioscientific Ltd, England). Já as pupas foram pesadas em balança de precisão e, posteriormente, transferidas para copos plásticos com tampa (5 cm de altura e 7 cm de largura), até a emergência dos adultos. Na fase adulta, foi fornecido como alimento um chumaço de algodão embebido com mel e água a 10% em copo plástico (50 mL), que foi trocado a cada dois dias.

Das três plantas marcadas por vaso, foram avaliados a média da altura, com o auxílio de uma régua; o teor de clorofila, com medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc.) (TECNAL, equipamentos para laboratórios, Piracicaba, Brasil) e a massa seca, com balança de precisão. Para a obtenção da massa seca da parte aérea, as plantas foram cortadas rente ao solo, individualizadas em sacos de papel (18 x 42 cm) e colocadas para secar em estufa, à temperatura de 60 °C, até peso constante. Posteriormente, as plantas foram moídas em moinho de facas Tipo Willey (TECNAL, equipamentos para laboratórios, Piracicaba, Brasil) e as amostras identificadas, acondicionadas em sacos plásticos (5 x 23 cm) e enviadas para a determinação dos teores de Si no

Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias (UFU/LAFER).

3.3 Preferência alimentar de *S. frugiperda* em plantas de arroz tratadas com silício

3.3.1 Teste com chance de escolha

O local de condução do experimento, o plantio e a adubação, bem como os tratamentos, foram semelhantes ao bioensaio anterior. Cinco dias após a germinação das plantas foi feito o desbaste, deixando-se as cinco plantas mais vigorosas/vaso.

O teste de livre escolha foi realizado com lagartas de 2^o instar e seções foliares de 5 cm de comprimento dos três tratamentos, dispostas aleatoriamente em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, com fundo revestido com 150 mL de agar a 1%, a fim de manter a turgescência das seções foliares (ALCANTRA; MORAES; ANTÔNIO, 2010). As três seções foliares foram distribuídas aleatoriamente e equidistantes, permitindo a livre escolha pelas lagartas.

Foram liberadas 12 lagartas no centro de cada placa, conforme testes preliminares. Após 24, 48 e 72 horas, foram contadas as lagartas encontradas em cada tratamento, adaptado de Costa et al. (2006). Ao final das 72 horas também foi avaliada a área foliar consumida pelas lagartas, utilizando-se o medidor de área foliar AM300. Para o teste de livre escolha foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com 3 tratamentos e 20 repetições.

3.3.2 Teste sem chance de escolha

No teste sem chance de escolha foram utilizadas placas de Petri de 15 cm de diâmetro com 150 mL de agar a 1%. Foram liberadas 12 lagartas de 2º instar por placa contendo três seções foliares de 5 cm de comprimento do mesmo tratamento. Foi avaliada a sobrevivência das lagartas às 24, 48 e 72 horas. As lagartas localizadas fora das seções foliares não foram contabilizadas.

O delineamento para o teste sem chance de escolha foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 20 repetições.

3.4 Análise estatística

Os dados de contagem e de porcentagem de mortalidade foram transformados em $\sqrt{x+0,5}$ e arco-seno $\sqrt{x/100}$, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância, as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e as variáveis significativas correlacionadas (correlação linear de Pearson), utilizando-se o software SAEG 9.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aspectos biológicos de *S. frugiperda* e desenvolvimento de plantas de arroz tratadas com silício

4.1.1 Aspectos biológicos de *S. frugiperda*

4.1.1.1 Efeito do silício nas fases imaturas de *S. frugiperda*

Pode-se verificar (Tabela 1) que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos para a porcentagem de mortalidade de lagartas, duração das fases, duração das fases larval e de pupa, além da viabilidade de pupa.

Contudo, outros parâmetros importantes desse inseto-praga foram afetados pela aplicação de silício (Tabela 1), pois houve redução na área foliar consumida de, aproximadamente, 14%, independentemente do modo de aplicação de Si nas plantas, o que, conseqüentemente, interferiu no peso de lagartas e de pupas, sendo este reduzido, respectivamente, em 67% e 12,5%, para os insetos que se alimentaram de plantas de arroz tratadas com silício em pulverização em relação às não tratadas.

O fato de o silício ter contribuído para a redução desses parâmetros pode ser atribuído ao aumento de sua concentração nas plantas, contribuindo para o endurecimento da parede celular (DATNOFF; SNYDER; KORNDORFER, 2001), a redução da digestibilidade das folhas (MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006) e, portanto, a redução nas taxas de crescimento das lagartas (MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2007).

Os resultados desta pesquisa assemelham-se aos encontrados por Massey e Hartley (2009) quanto à redução no peso de lagartas de *Spodoptera*

exempta (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas com diferentes dietas contendo silício, o qual diminuiu a eficiência das lagartas em converter o alimento ingerido em massa corporal.

Em relação ao peso de pupa, os resultados obtidos corroboram os de Santos et al. (2012) que, avaliando a biologia de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro, verificaram diminuição na biomassa de pupas provenientes de plantas cujas folhas foram pulverizadas com silício.

De maneira geral, efeitos deletérios na biologia de *S. frugiperda* em decorrência da aplicação foliar de silício podem ter ocorrido em razão do acúmulo e da polimerização dos compostos silicatados na parede celular, aumentando a rigidez dos tecidos foliares e dificultando a alimentação (GOUSSAIN et al., 2002) e/ou induzindo a liberação de moléculas de defesa (GOMES; MORAES; NERI, 2009; GOUSSAIN et al., 2002; KVEDARAS et al., 2007; MORAES; FERREIRA; COSTA, 2009).

Tabela 1 Duração da fase larval (dias), peso larval aos 15 dias (mg), mortalidade larval (%), área foliar consumida (cm²), duração da fase de pupa (dias), peso de pupa (mg) e viabilidade de pupa (%) (média±erro padrão) de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de arroz tratadas com silício (Si).

Tratamentos	Duração da fase larval ^{ns}	Peso larval	Mortalidade larval ^{ns}	Área foliar consumida	Duração da fase de pupa ^{ns}	Peso de pupa	Viabilidade de pupa ^{ns}
Testemunha	32,7±0,40	30,0±0,01 a	24,0±5,81	180,1±3,95 a	10,5±0,19	160,0±0,00 a	100,0±0,00
Si (<i>drench</i>)	32,7±0,76	20,0±0,01 ab	48,0±7,42	159,8±7,00 b	10,5±0,11	150,0±0,00 ab	96,7±3,33
Si (foliar)	34,6±0,68	10,0±0,01 b	76,0±5,81	155,0±5,83 b	10,3±0,18	140,0±0,01 b	93,7±6,25
CV (%)	6,24	34,84	53,66	8,93	4,75	11,25	9,13

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Drench = aplicação de solução no solo ao redor das plantas.

4.1.1.2 Efeito do silício na fase adulta de *S. frugiperda*

Verificou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) para todos os parâmetros avaliados na fase adulta, exceto para razão sexual (Tabela 2).

Tabela 2 Razão sexual, longevidade de machos e fêmeas (dias), número de ovos de 1ª e 2ª posturas e viabilidade das 1ª e 2ª posturas (%) (média±erro padrão) de *S. frugiperda* oriundas de lagartas alimentadas com plantas de arroz tratadas com silício (Si).

Tratamentos	Razão sexual ^{ns}	Longevidade machos	Longevidade fêmeas	1ª postura	2ª postura	Viabilidade 1ª postura	Viabilidade 2ª postura
Testemunha	0,47±0,04	12,6±0,45 a	12,8±0,33 a	310,0±17,39 a	290,6±15,94 a	77,9±4,19 a	82,1±2,61 a
Si (<i>drench</i>)	0,22±0,42	7,4±0,73 b	8,75±1,97 b	115,1±32,50 b	97,6±26,72 b	38,3±10,47 b	39,2±11,19 b
Si (foliar)	0,36±0,14	8,7±1,12 b	10,2±2,63 ab	168,4±40,44 b	179,0±23,94 b	49,4±10,83 ab	57,1±5,53 b
CV (%)	30,11	14,70	25,45	33,78	28,38	29,50	27,87

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$)

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Drench = aplicação de solução no solo ao redor das plantas.

A longevidade de machos foi reduzida em 41%, em plantas tratadas com Si, para os dois métodos de aplicação, ou seja, foliar ou *drench*. Já para fêmeas, a longevidade foi 32% menor em plantas que receberam Si via *drench*, em relação aos demais tratamentos.

Outro fato relevante que pode ser destacado foi que a aplicação de silício ocasionou uma diminuição do número e da viabilidade de ovos (1ª e 2ª posturas), sendo esta quase duas vezes inferior nos tratamentos com Si, quando comparados à testemunha. Provavelmente, os elevados níveis de silício nos tecidos foliares tornam os insetos incapazes de ingerir quantidades suficientes de nutrientes e água (PANDA; KUSH, 1995), acarretando alterações fisiológicas. Com base nesses resultados, as modificações observadas quanto aos aspectos biológicos de *S. frugiperda* foram causadas pelo mecanismo de antibiose.

Os resultados de longevidade desta pesquisa corroboram os de (KORNDÖRFER; GRISOTO; VENDRAMIM, 2011) com a cigarrinha *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar, que foram reduzidos para machos e fêmeas, nos tratamentos com aplicação de Si.

Efeitos semelhantes ao desta pesquisa também foram observados por Salim e Saxena (1992), para a cigarrinha *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), que teve redução no crescimento, na longevidade dos adultos, na fecundidade e no aumento da população em cultivares de arroz ricas em silício.

A longevidade reduzida para adultos também representa uma diminuição do período de acasalamento e, conseqüentemente, o número de posturas pelas fêmeas, resultando em menor infestação por lagartas no próximo ciclo de vida

do inseto. Esses resultados, combinados ao efeito ambiental, poderão diminuir as populações futuras do inseto e, portanto, os danos causados às plantas.

4.1.2 Desenvolvimento vegetativo de plantas de arroz tratadas com Si

Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do silício para todas as características vegetativas avaliadas, exceto para a massa fresca da parte aérea (Tabela 3). A aplicação de Si via *drench* proporcionou maior altura e peso de massa seca, seguida da aplicação de Si foliar. Por outro lado, os diferentes tipos de aplicação deste elemento (*drench* ou foliar) conferiram o dobro de acúmulo de Si e de clorofila nas folhas em relação ao controle.

Resultados semelhantes obtidos nesta pesquisa foram demonstrados em um estudo comparativo do crescimento de plântulas de arroz, trigo e aveia suplementadas com Si em solução nutritiva, no qual, após 12 dias, obteve-se um crescimento 50% maior para arroz e aveia e 35% para plantas de trigo, em relação ao controle (HOSSAIN et al., 2002).

Tabela 3 Altura (cm), teor de clorofila, massa fresca e seca (g) da parte aérea e o teor de Si foliar (%), (média±erro padrão) de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) tratadas com silício (Si).

Tratamentos	Altura	Teor de clorofila	Massa fresca ^{ns}	Massa seca	Teor de Si foliar
Testemunha	20,9±0,33 c	9,3±1,07 b	0,9±0,05	0,3±0,02 c	0,7±0,05 b
Si (<i>drench</i>)	27,1±0,59 a	20,6±1,35 a	2,1±0,18	0,7±0,06 a	1,5±0,07 a
Si (foliar)	23,2±0,56 b	18,4±0,83 a	1,3±0,07	0,5±0,02 b	1,6±0,06 a
CV (%)	6,78	21,73	25,37	22,95	19,64

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

Drench = aplicação de solução no solo ao redor das plantas.

A resposta positiva das plantas em relação à aplicação de silício pode ser explicada pelo fato de o arroz ser uma cultura classificada como acumuladora desse mineral, desempenhando papel importante no crescimento das plantas (EPSTEIN, 1994), pois, quando depositado nas folhas, as torna mais eretas e rígidas, favorecendo maior interceptação de luz e aumentando a eficiência fotossintética (MARSCHNER, 1995). Além disso, proporciona aumento de peso fresco e seco, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, justamente por favorecer o crescimento vegetativo das plantas (EPSTEIN, 1994).

4.1.3 Correlação entre teor de Si foliar, parâmetros biológicos de *S. frugiperda* e desenvolvimento vegetativo de plantas de arroz

Na Tabela 4 observa-se a correlação entre o teor de Si foliar e os aspectos biológicos de *S. frugiperda*. O teor de Si correlacionou-se de forma positiva com a porcentagem de mortalidade, ou seja, quanto maior o teor de Si maior a mortalidade de lagartas. Já para área foliar consumida, peso de lagartas, viabilidade de pupa, duração da fase de pupa, peso de pupa, razão sexual, longevidade de machos e fêmeas, foi observada correlação negativa.

Tabela 4 Correlação linear paramétrica de Pearson entre as características teor de silício (TSi), porcentagem de mortalidade (PM), área foliar consumida (AFC), peso de lagartas (PL), viabilidade pupal (VP), duração pupal (DP), peso de pupa (PP), razão sexual (RS), longevidade de machos adultos (LM) e longevidade de fêmeas adultas (LF) de *S. frugiperda* em plantas de arroz tratadas com silício (Si).

Características	PM	AFC	PL	VP	DP	PP	RS	LM	LF
TSi	0,65*	-0,52*	-0,54*	-0,33*	-0,34*	-0,37*	-0,47*	-0,65*	-0,70*

*Significativo ($p \leq 0,05$), pelo teste t.

Os maiores níveis de Si encontrados nas folhas de plantas de arroz podem ter ocasionado uma proteção mecânica e, possivelmente, uma resposta química, as quais acarretaram alterações dos parâmetros avaliados, reduzindo a sobrevivência do inseto e favorecendo a diminuição na sensibilidade das plantas para o inseto-praga com o aumento do teor de Si (KEEPING; MEYER, 2002).

Em pesquisa realizada por Ma e Takahashi (2002) também foram observadas correlações negativas entre a quantidade de lagartas *Chilo suppressalis* (Walker, 1863) (Lepidoptera: Pyralidae) e o peso de fezes em relação à quantidade de Si nas hastes de arroz, indicando redução do consumo de plantas pelas lagartas. Já para *Ostrinia furnacalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae), alimentadas com dieta artificial, o peso de pupas, a fecundidade de adultos, a taxa líquida de reprodução e a taxa intrínseca de crescimento foram todas negativamente correlacionadas com o teor de Si na dieta (HORNG; CHU, 1990).

Pode-se observar (Tabela 5) correlação positiva entre o teor de Si foliar e as características vegetativas para todos os parâmetros. Isto pode ser explicado pelo fato de que um maior teor de Si encontrado nas plantas ocasiona um incremento nas características vegetativas, uma vez que as plantas de arroz são consideradas acumuladoras deste elemento e podem conter até 10% de Si na matéria seca (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Tabela 5 Correlação linear paramétrica de Pearson entre as características teor de silício (TSi), altura (ALT), teor de clorofila (TC) e peso seco (PS) de plantas de arroz tratadas com silício (Si).

Características	ALT	TC	PS
TSi	0,54*	0,68*	0,54*

*Significativo ($p \leq 0,05$), pelo teste t.

Em arroz foi observada uma resposta positiva à aplicação de Si, com aumento da massa seca da parte aérea e da produtividade (LEE; KWON; PARK, 1990; SANTOS et al., 2009), o que corrobora os resultados desta pesquisa. O aumento da taxa fotossintética da planta e da eficiência de uso da água devido à prevenção de perda pela transpiração (FARIA JÚNIOR et al., 2009) é um dos fatores que podem estar envolvidos nesses processos fisiológicos. Além disso, alguns genótipos de arroz são mais eficientes que outros no acúmulo de Si, o que, possivelmente, contribui para aumentar o nível de resistência das plantas a doenças e insetos (DEREN et al., 1994).

4.2 Preferência alimentar de *S. frugiperda* em plantas de arroz tratadas com silício

4.2.1 Teste com chance de escolha

O número de lagartas de *S. frugiperda* encontradas nas seções foliares de arroz e o consumo foliar estão apresentados na Tabela 6. Não houve diferença

significativa ($p > 0,05$) na preferência alimentar das lagartas pelos tratamentos nas primeiras 24 horas. Contudo, às 48 horas e às 72 horas, as plantas tratadas com Si (independentemente do modo de aplicação - *drench* ou foliar) não foram preferidas em relação ao controle. Consequentemente, o consumo foliar foi reduzido em menos da metade nesses tratamentos, quando comparados à testemunha, sendo verificado o menor consumo em plantas pulverizadas com Si. Estes resultados podem ser atribuídos à silificação da epiderme, que dificulta a mastigação pelos insetos, devido ao endurecimento da parede das células vegetais (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001), suprimindo a alimentação pelas lagartas.

Os resultados encontrados nesta pesquisa assemelham-se aos de Ma e Takahashi (2002), que observaram correlação negativa entre o número de lagartas *C. suppressalis* em relação ao teor de Si nas hastes das plantas em arroz. Já em cana-de-açúcar, a suplementação de plantas com silício contribuiu para elevar o conteúdo deste elemento nas plantas, interferindo na alimentação de *C. suppressalis*, em função do menor consumo foliar (HOU; HAN, 2010).

Tabela 6 Número de lagartas em ensaio com chance de escolha às 24, 48 e 72 horas e consumo foliar (cm²) (média±erro padrão) de *S. frugiperda* em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) tratadas com silício (Si). N=12

Tratamentos	24 h	48 h	72 h	Consumo foliar
Testemunha	1,5±0,34 a	4,7±0,42 a	4,3±4,19 a	1,7±0,91 a
Si (<i>drench</i>)	1,9±0,39 a	1,0±0,19 b	0,6±0,17 b	0,7±0,04 b
Si (foliar)	2,3±0,49 a	0,6±0,18 b	0,1±0,05 b	0,4±0,04 c
CV (%)	45,19	23,23	20,21	29,90

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Drench = aplicação de solução no solo ao redor das plantas.

N= número de lagartas.

4.2.2 Teste sem chance de escolha

Verifica-se (Tabela 7) que o número de lagartas vivas às 24, 48 e 72 horas diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) para todos os períodos de avaliação, uma vez que plantas submetidas à aplicação de silício (Si), em *drench* ou foliar, apresentaram as menores taxas de sobrevivência de *S. frugiperda*, em comparação com a testemunha. Às 72 horas foi verificado o dobro da mortalidade de lagartas em plantas com Si, em relação às não tratadas com este elemento.

Esse fato pode ser comparado com outros encontrados em pesquisas realizadas em milho, nas quais a maior mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* de 2^o instar foi verificada em plantas tratadas com silício. Esse resultado foi atribuído à dificuldade de alimentação das lagartas pequenas, em razão da proteção conferida pelo silício devido ao acúmulo e à polimerização de silicatos (sílica amorfa) nas células epidérmicas, formando uma barreira

mecânica conhecida como dupla camada silício-cutícula (GOUSSAIN et al., 2002; YOSHIDA; OHNISHI; KITAGISHI, 1962).

Também Keeping e Meyer (2002) demonstraram que, em plantas de cana-de-açúcar tratadas com Si, ocorreu redução significativa na sobrevivência de larvas de *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae), de maneira semelhante ao observado neste estudo.

Dessa forma, considerando os resultados observados, pode-se sugerir que o uso dessa tecnologia torna-se uma alternativa viável a ser integrada em programas do manejo integrado de pragas da cultura de arroz.

Tabela 7 Sobrevivência de lagartas de *S. frugiperda* em ensaio sem chance de escolha às 24, 48 e 72 horas (média±erro padrão) em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) tratadas com silício (Si) (n=12).

Tratamentos	24 horas	48 horas	72 horas
Testemunha	11,8±0,09 a	8,8±0,35 a	6,3±0,29 a
Si (<i>drench</i>)	9,8±0,34 b	5,6±0,33 b	3,7±0,36 b
Si (foliar)	10,6±0,04 b	6,7±0,43 b	2,4±0,27 b
CV (%)	5,57	11,49	15,04

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Drench = aplicação de solução no solo ao redor das plantas.

n= número de lagartas.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados observados nesta pesquisa, o silício apresenta perspectivas para o manejo de *S. frugiperda* em lavouras de arroz, uma vez que interfere negativamente em seus aspectos comportamentais e biológicos e, ainda, contribui com o desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- ALCANTRA, E.; MORAES, J. C.; ANTÔNIO, A. Efeito de indutores da resistência e cultivares de algodão no comportamento de *Aphis gossypii*. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 619-624, out./dez. 2010.
- ALEXANDRE, A. et al. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 61, n. 3, p. 677-682, Feb. 1997.
- ANDREWS, K. L. Latin American research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist**, Lutz, v. 71, n. 4, p. 630-653, 1988.
- ANUÁRIO da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2011. 482 p.
- ASSIS, F. A. et al. Efeitos da terra diatomácea sobre *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) em batata inglesa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 482-486, maio/jun. 2011.
- BAMBARADENIYA, C. N. B.; AMERASINGHE, F. P. **Biodiversity associated with the rice field agroecosystem in Asian countries: a brief review**. Colombo: International Water Management Institute, 2003. 29 p. (Working Paper, 63).
- BARROS, R. G. et al. Eficiência de inseticidas no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 179-182, set./dez. 2005.
- BUSATO, G. R. et al. Biologia comparada de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de milho e arroz. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, p. 743-750, set./out. 2005.
- _____. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 525-529, out. 2002.

_____. Susceptibilidade de lagartas dos biótipos milho e arroz de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas com diferentes modos de ação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 15-20, jan./fev. 2006.

BUZETTI, S. et al. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, dez. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café safra 2012, terceira estimativa setembro 2012**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

COSTA, M. A. G. et al. Consumo foliar e preferência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) por cultivares de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 4, p. 415-421, out./dez. 2006.

_____. Eficácia de diferentes inseticidas e de volume de calda no controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura de milho e sorgo cultivados em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1234-1242, nov./dez. 2005.

CRUZ, I. et al. **Manual de identificação de pragas do milho e de seus principais agentes de controle biológico**. Brasília: EMBRAPA, 2008. 192 p.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; MATOSO, M. J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitoide de ovos *Trichogramma***. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1999. 40 p. (Circular Técnica, 30).

CRUZ, I.; TURPIN, F. T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estágios de crescimento da cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 355-359, 1982.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon on agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 424 p.

DEREN, C. W. et al. Silicon concentration, disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 733-737, May 1994.

DIEZ-RODRIGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 331-316, jun. 2001.

DING, T. P. et al. Silicon isotope study on rice plants from the Zhejiang province, China. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 218, n. 1/2, p. 41-50, May 2005.

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

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

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

_____. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 380 p.

FARIA JÚNIOR, L. A. et al. Produção de matéria seca, teor acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, jul./ago. 2009.

FERNANDES, M. G.; BUSOLI, A. C.; BARBOSA, J. C. Amostragem seqüencial de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) em algodoeiro. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 8, n. 3, p. 213-218, 2002.

FONSECA, A. R. et al. Resistência de genótipos de sorgo ao pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae): III., efeito no desenvolvimento da planta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 585-592, maio/jun. 2004.

GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

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, jan./fev. 2009.

GOUSSAIN, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, abr./jun. 2002.

GREENE, G. L.; LEPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 69, n. 4, p. 488-497, Aug. 1976.

HEINRICHS, E. A. **Management of rice insect pests**. Minnesota: IPM, 1998. 16 p. (Radcliffe's IPM World Textbook).

HENRIET, C. et al. Leaf silicon content in banana (*Musa* spp.) reveals the weathering stage of volcanic ash soils in Guadeloupe. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 313, n. 1/2, p. 71-82, Dec. 2008.

HORNG, S. B.; CHU, Y. I. Development and reproduction of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenée) fed on artificial diet containing silica. [Chinese Journal of Entomology](#), Taiwan, v. 10, n. 3, p. 325-335, 1990.

HOSSAIN, M. T. et al. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 115, n. 1, p. 23-27, Feb. 2002.

HOU, M.; HAN, Y. Silicon-mediated rice plant resistance to the Asiatic rice borer (Lepidoptera: Crambidae): effects of silicon amendment and rice varietal resistance. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 103, n. 4, p. 412-419, Aug. 2010.

HUNT, J. W. et al. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. **Annals of Botany**, Oxford, v. 102, n. 4, p. 653-656, Oct. 2008.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Porto Alegre, 2001. 128 p.

ISIDRO, R.; ALMEIDA, R. P.; PEREIRA, J. O. V. Consumo foliar de *Spodoptera frugiperda* em amendoim cultivares TATU e CNPA BR-1. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 37-42, 1997.

JUNG, K.; AN, G.; RONALD, P. C. Towards a better bowl of rice: assigning function to tens of thousands of rice genes. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 9, n. 1, p. 91-101, Feb. 2008.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 1992. 365 p.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 4, n. 4, p. 265-274, Oct. 2002.

KHUSH, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**, Wageningen, v. 35, n. 1/2, p. 25-34, Sept. 1997.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 387-392, May/June 2011.

KORNDÖRFER, C. M.; ABDALLA, A. L.; BUENO, I. C. S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 153-193, 2001.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 623-629, maio/jun. 1999.

KVEDARAS, O. L. et al. Effects of silicon on the African stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in sugarcane. **Proceeding of South African Sugar Technologist's Association**, Brisbane, v. 79, p. 359-362, 2005.

_____. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site.

International Journal of Pest Management, London, v. 53, n. 3, p. 183-194, July 2007.

LABRADOR, J. R. **Estudio de biología y combate del gusano cogollero del maíz *Laphygma frugiperda* S.&A.** Maracaibo: Universidad del Zulia, 1967. 83 p.

LEE, D. B.; KWON, T. O.; PARK, K. H. Influence of nitrogen and silica on the yield and the lodging related traits of paddy rice. **Soil and Fertilizers**, Berlin, v. 32, n. 2, p. 15-23, 1990.

LUCAS, Y. et al. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. **Science**, New York, v. 260, n. 5107, p. 521-523, Apr. 1993.

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

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 294 p.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 11, n. 8, p. 392-397, Aug. 2006.

MAKABE, S. et al. Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 55, n. 2, p. 300-308, Dec. 2009.

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

MARTINS, J. F. da S.; BOTTON, M. Controle de insetos da cultura do arroz irrigado. In: PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. (Ed.). **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: UFPel, 1996. p. 277-304.

MARTINS, J. F. da S.; GRÜTZMACHER, A. D.; CUNHA, U. S. Descrição e manejo integrado de insetos praga em arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 635-675.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. **Oecologia**, London, v. 152, n. 4, p. 677-683, July 2007.

_____. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 595-603, Mar. 2006.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 78, n. 1, p. 281-291, Jan. 2009.

MORAES, J. C.; FERREIRA, R. S.; COSTA, R. R. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (GENN., 1889) (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1260-1264, set./out. 2009.

MORILLO, F.; NOTZ, A. Resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. **Entomotropica**, Maracay, v. 16, n. 2, p. 79-87, 2001.

NAKANO, K.; ABE, G.; HIRANO, C. Silicon as an insect resistance component of host plant, found in relation between the rice stem borer and rice plant. **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 5, p. 17-27, 1961.

OLIVEIRA, J. V. Caracterização e controle dos principais insetos do arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 40, n. 374, p. 17-24, 1987.

PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**. New York: MacMillan, 1968. 520 p.

PANDA, N.; KUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. Wallingford: CAB International, 1995. 523 p.

PINTO, A. de S.; PARRA, J. R. P.; OLIVEIRA, H. N. de. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos do milho e sorgo**. Piracicaba: PLD, 2004. 108 p.

POGUE, G. M. A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). **Memoirs of the American Entomological Society**, Philadelphia, n. 43, p. 1-202, 2002.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 301 p.

SALIM, M.; SAXENA, R. C. Iron, silica, and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 1, p. 212-219, Jan. 1992.

SANTOS, A. B. et al. Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos praga em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 537-543, set./out. 2009.

SANTOS, M. C. et al. Efeito do silício em aspectos comportamentais e na história de vida de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, MG, v. 2, n. 1, p. 76-88, jul. 2012.

SARMENTO, R. A. et al. Revisão da biologia, ocorrência e controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) em milho no Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 18, n. 2, p. 41-48, dez. 2002.

SAVANT, A. S.; PATIL, V. H.; SAVANT, N. K. Rice hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transplanted rice. **International Rice Research Notes**, Los Banos, v. 19, n. 4, p. 21-22, 1994.

SILVA, R. N. et al. Physiological quality of barley seeds submitted to saline stress. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 40-44, 2007.

SOARES, A. A. et al. BRSMG Caravera: cultivar de arroz para terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 937-940, jul. 2008.

_____. Canastra e confiança: cultivares melhorados de arroz para plantio em condições de sequeiro tradicional e irrigado por aspersão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 44, n. 252, p. 230-240, out. 1997.

_____. Carisma: cultivar de arroz para plantio no sequeiro tradicional e sob pivô central. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 272, p. 441-448, 2000.

_____. Primavera: cultivar de grãos agulhinha para cultivo em terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 48, n. 277, p. 381-388, maio 2001.

SOARES, A. A.; REIS, M. S. de; SOARES, P. C. Caiapó, nova opção de arroz de sequeiro para Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 40, n. 231, p. 513-517, 1993.

STADNIK, M. Indução de resistência a oídios. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 23., 2000, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: USP, 2000. p. 176-181.

STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1086-1093, jul./ago. 2006.

TAMAI, K.; MA, J. F. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. **Plant and Soil**, The Hague, v. 307, n. 1/2, p. 21-27, June 2008.

TISDALE, S. L. et al. **Soil fertility and fertilizer**. New York: MacMillan, 1993. 634 p.

YOSHIDA, A. S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 8, p. 107-111, 1962.

YU, S. J. Insensitivity of acetylcholinesterase in a field strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 84, n. 2, p. 135-142, 2006.

YU, S. J.; MCCORD JUNIOR, E. Lack of cross-resistance to indoxacarb in insecticide-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Pest Management Science**, Sussex, v. 63, n. 1, p. 63-67, 2007.