

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

POLIANNA ALVES SILVA DIAS

**SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS DE TRIGO ÀS
FORMAS ALADA E ÁPTERA DE *Sitobion avenae* (FABRICIUS) (HEMIPTERA:
APHIDIDAE)**

UBERLÂNDIA/MG
2012

POLIANNA ALVES SILVA DIAS

**SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS DE TRIGO ÀS
FORMAS ALADA E ÁPTERA DE *Sitobion avenae* (FABRICIUS) (HEMIPTERA:
APHIDIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientador:
Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UBERLÂNDIA/MG
2012

POLIANNA ALVES SILVA DIAS

**SILÍCIO NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS DE TRIGO ÀS
FORMAS ALADA E ÁPTERA DE *Sitobion avenae* (FABRICIUS) (HEMIPTERA:
APHIDIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 4 de setembro de 2012.

Prof. Dra. Ana Paula Korndörfer

UFU

Prof. Dr. Alexander Machado Auad

EMBRAPA
CNPGL

Prof. Dra. Marina Robles Angelini

IFTM

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio
ICIAG/UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA/MG
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as maravilhas em minha vida, concedendo-me força e perseverança e colocando em minha vida tantas pessoas iluminadas!

Agradeço ao meu esposo, Pedro Augusto, pelo companheirismo e amor constantes. Pelos conselhos nos momentos mais difíceis e por comemorar comigo as vitórias!

Aos meus pais, Sônia Alves e João Batista, por me ensinarem os valores mais importantes da vida. Minha mãe foi minha inspiração!

À minha irmã, Priscilla Alves, pela amizade incondicional!

A toda minha família, por compreenderem a minha ausência. Obrigada por acreditarem em mim!

Aos meus sogros, Oneida e Pedro, por todo apoio!

Aos colegas e amigos do Mestrado em Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que estiveram de alguma forma presentes durante essa etapa, obrigada pelo companheirismo!

Ao professor doutor Marcus Vinicius Sampaio, pelos conhecimentos transmitidos e pela amizade!

Aos membros da banca examinadora, professores doutores Alexander Machado Auad, Ana Paula Korndörfer e Marina Robles Angelini, pela disponibilidade e pelos ensinamentos.

Aos amigos do Laboratório de Controle Biológico (LACOB) da UFU, que colaboraram nos momentos que mais precisei, tornando possível a realização deste trabalho. Obrigada, Reinaldo, Samira, Monique, Mariana Pelegrini, Mariana Stultz, Aline, Ana Paula, Luis Fernando, Fábio!

Ao doutorando Juracy Caldeira Lins Júnior (UFLA), pela coleta dos pulgões!

Ao professor doutor Gaspar Korndörfer, pelas análises de silício e a toda equipe do Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER), da UFU, pela ajuda!

Ao pesquisador da Embrapa Trigo, doutor Joaquim Soares Sobrinho, pela gentileza ao fornecer as sementes de trigo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Aspectos morfológicos e econômicos do trigo.....	4
2.2 Aspectos morfológicos e ecológicos dos pulgões.....	6
2.3 Pulgões na cultura do trigo.....	8
2.4 Hábito alimentar e danos causados pelos pulgões do trigo.....	9
2.5 <i>Sitobion avenae</i> (Fabricius, 1775).....	10
2.6 Métodos de controle dos pulgões do trigo.....	11
2.7 Silício.....	14
2.8 O papel do silício na resistência induzida de plantas.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Criação de <i>S. avenae</i>	20
3.2 Preparo do solo usado nos experimentos.....	20
3.3 Efeito do silício no desenvolvimento e na reprodução de <i>S. avenae</i>	21
3.3.1 Biologia de <i>S. avenae</i>	21
3.3.2 Tabela de vida de fertilidade de <i>S. avenae</i>	22
3.4 Testes de não preferência.....	23
3.5 Análise de silício nas folhas e espigas de trigo.....	24
4 RESULTADOS.....	26
4.1 Biologia de <i>S. avenae</i>	26
4.2 Tabela de vida de fertilidade de <i>S. avenae</i>	27
4.3 Testes de não preferência.....	28
4.4 Análise de silício nas folhas e espigas de trigo.....	29
5 DISCUSSÃO.....	30
6 CONCLUSÕES.....	34
7 REFERÊNCIAS.....	35

RESUMO

DIAS, Polianna Alves Silva. **Silício na indução de resistência em plantas de trigo às formas alada e áptera de *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Dos fatores que afetam a produção e a qualidade dos grãos de trigo, enfatizam-se os insetos, cujos efeitos degradantes podem ser reduzidos por meio do uso do silício. Apesar de conhecer os efeitos desse elemento para incrementar a antibiose e a não preferência de plantas aos pulgões ápteros, estudos com a espécie *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) e sobre o efeito do silício na biologia e na preferência pela planta hospedeira da forma alada são escassos. Os objetivos do trabalho foram verificar o efeito do silício sobre a biologia de formas alada e áptera de *S. avenae*; e constatar a não preferência de alados sobre plantas de trigo com e sem adubação silicatada. Os ensaios de antibiose foram realizados em folha destacada de trigo sobre solução de agar/água a 1% em câmara climatizada a 23°C. Os ensaios de não preferência foram feitos em sala climatizada a 23°C, com pulgões alados, e foram testadas plantas de trigo no estágio vegetativo e reprodutivo. Foi realizada a quantificação do teor de silício em plantas adubadas e não adubadas com silício. Além disso, a adubação silicatada não influenciou a mortalidade de imaturos e o período de desenvolvimento de *S. avenae*. A maior fecundidade total foi observada para as fêmeas ápteras da testemunha, em que o silício reduziu a fecundidade, o período reprodutivo e a longevidade das fêmeas ápteras, porém não influenciou nesses aspectos biológicos das fêmeas aladas. A maior taxa líquida de reprodução (R_0) foi constatada para os ápteros na testemunha, demonstrando que o silício influenciou reduzindo a fecundidade desses insetos; entretanto, para os alados o silício não incidiu nessa característica. Com relação ao tempo entre gerações (T), ele foi reduzido ao ser aplicado o silício, tanto para os alados quanto para os ápteros – essa dosagem não influenciou na taxa líquida de aumento populacional (r_m). Quando se compararam ápteros e alados, foi possível observar que os maiores valores de razão finita de crescimento da população original (λ) foram para os ápteros tanto na testemunha, como na adubação silicatada. Nos testes de não preferência de *S. avenae* em plantas de trigo em estágio vegetativo e reprodutivo, a planta que recebeu o silício em sua adubação apresentou menor número de insetos do que a testemunha. As plantas de trigo que foram submetidas à adubação silicatada apresentaram teor de silício duas vezes maior nas folhas e nas espigas do que as plantas da testemunha. A biologia dos adultos ápteros foi afetada negativamente, enquanto a biologia da forma alada não foi afetada pela aplicação de silício. A adubação silicatada via solo promoveu o mecanismo de resistência por não preferência em plantas de trigo à forma alada de *S. avenae*.

Palavras-chave: adubação silicatada, afídeo, pulgão-da-espiga, *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

DIAS, Polianna Alves Silva. **Silicon on resistance induction of wheat plants to alate and apterous forms of *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 44 p. Thesis (Master's Degree in Agronomy/Crop Science) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Among the factors affecting wheat grain yield and quality, insects are notorious by the degrading effects, which can be reduced by silicon use. Despite the knowledge of silicon effects on the increase of antibiosis and non-preference of plants to apterous aphids, studies on the species *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) and the effect of silicon on the biology and preference for the host plant by alate aphids are scarce. This research determined the effect of silicon on the biology of alate and apterous forms of *S. avenae*; and the non-preference of alates for wheat plants with or without silicon fertilization. Antibiosis tests were conducted on wheat detached leaf over agar-water 1% solution in climatized chamber at 23 °C. Non-preference tests were performed in climatized room at 23 °C with alate aphids on vegetative and reproductive stage wheat plants. Silicon content in plants fertilized or not fertilized with silicon was analyzed. Silicon fertilization did not influence immature *S. avenae* mortality and development time. The greatest total fecundity was observed for apterous females on the control treatment. Silicon reduced fecundity, reproductive period and longevity of apterous females, but did not affect these biological traits of alate females. The greatest net reproductive rate (R_0) was observed for apterous on the control treatment, showing that silicon reduced fecundity of these insects. However, for alates, silicon did not affect this trait. The mean generation time (T), for both apterous and alate aphids reared on silicon treated plants, reduced. Silicon application did not affect the net rate of population increase (r_m). The greatest values of the finite rate of original population increase (λ) were observed for apterous aphids, in both control and silicon fertilization. Non-preference testes of *S. avenae* for wheat, in vegetative and reproductive stages, showed that plants receiving silicon on its fertilization had lower number of insects than the control. Wheat plants subjected to silicon fertilization had silicon content two times greater on leaves and ears than control plants. The biology of apterous adults was negatively affected by silicon application, while the biology of alate forms was not. Silicon fertilization via soil induced resistance mechanism by non-preference on wheat plants to alate forms of *S. avenae*.

Keywords: aphid, grain aphid, silicon fertilization, *Triticum aestivum*.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L. Thell), é uma gramínea com grande importância no cenário agrícola mundial, sendo um dos cereais mais consumidos no Brasil e no mundo devido às suas características nutricionais (MOREIRA et al., 2006). Ele é tipicamente cultivado na região Sul do país; entretanto, o cerrado brasileiro vem se destacando na produção graças ao desenvolvimento de cultivares adaptadas para a região (ALBRECHT et al., 2008). Para a safra 2011/12 estima-se produção de 5.788,6 mil toneladas de grãos em 2.166,2 mil ha no território brasileiro, com mais de 90% da área cultivada e da produção nos estados da região Sul do país (CONAB, 2012).

A produção e a qualidade dos grãos de trigo podem ser afetadas por diversos fatores e, dentre eles, enfatizam-se os insetos. De acordo com Salvadori et al. (2009), existe uma estimativa de que mais de 100 espécies de insetos estão associadas ao trigo; porém, apenas um pequeno número pode ser considerado prejudicial a ponto de ser designado como praga. Dentre esses, os pulgões (Hemiptera, Aphididae), também conhecidos como afídeos, apresentam posição de destaque. Os pulgões produzem duas formas de adultos, a alada e a áptera. Os ápteros apresentam maior fecundidade, mas com pouca capacidade de dispersão, colonizando partes da mesma planta ou de plantas próximas à colônia. A dispersão dos pulgões em longas distâncias é realizada pelos alados (STADLER; DIXON, 2005). Além dessa função, de acordo com Blackman (1990), os afídeos alados são adaptados para localizar e escolher novos hospedeiros, o que os torna mais adequados para testes de não preferência.

Várias espécies de afídeos podem ser encontradas atacando o trigo, mas o pulgão-da-espiga, *Sitobion avenae* (Fabricius), é um dos principais. Esse inseto foi introduzido no Brasil no ano de 1966 e causou danos alarmantes, possivelmente, pela falta de parasitoides na região (ZUÑIGA, 1990). Ao se constituir nos anos 1970 como uma das principais pragas da cultura de trigo e de outros cereais de inverno, o pulgão *S. avenae*, juntamente com *Metopolophium dirhodum* (Walker), atingiram populações muito elevadas em pouco tempo, provocando reduções no rendimento da ordem de até 88% em áreas sem controle da praga. Estima-se que, no período entre 1967-1972, os pulgões tenham causado prejuízos da ordem de 20% na produção tritícola do sul do Brasil (CAETANO, 1973; SALVADORI, 1999). Porém, o bem-sucedido programa de controle biológico de pulgões do trigo, com a introdução de parasitoides na década de 1980, fez com que esses danos fossem reduzidos drasticamente. Atualmente, *S. avenae*

e *R. padi* continuam merecendo destaque como pragas do trigo, embora em níveis bastante reduzidos quando comparados com os encontrados nos anos 1970 (SALVADORI; SALLES, 2002; ALVES et al., 2005; ROZA-GOMES et al., 2008).

Dessa forma, deve-se buscar alternativas compatíveis com o controle biológico para reduzir ainda mais as populações de pulgões em trigo, como a resistência induzida promovida pela aplicação de silício (MORAES et al., 2004; OLIVEIRA, 2012). Essa resistência é uma ferramenta que apresenta benefícios por ser uma tecnologia que se enquadra no Manejo Integrado de Pragas – ela não agride o meio ambiente e o ser humano. Nesse sentido, o silício é um agente promotor de defesas contra insetos, pois age como elicitador, induzindo a produção de metabólitos de defesa, como os compostos fenólicos, em plantas (GOMES et al., 2005; GOMES et al., 2008); por conseguinte, estresses de origem biótica ou abiótica podem ter seus efeitos degradantes reduzidos por meio do uso do silício. De acordo com Epstein (2001), o silício é capaz de aumentar o teor de clorofila das folhas e a tolerância das plantas aos estresses como seca, calor, frio, desbalanço nutricional e toxicidade a metais, além de enrijecer a parede celular, aumentando a resistência contra patógenos e insetos.

Diversos trabalhos têm demonstrado que a aplicação de silício altera alguns aspectos biológicos e a preferência pelas plantas hospedeiras de insetos sugadores (CARVALHO et al., 1999; BASAGLI et al., 2003; CORREA et al., 2005; GOMES et al., 2008) e mastigadores (GOUSSAIN et al., 2002; MASSEY et al., 2006; KVEDARAS et al., 2009). O aumento na taxa de mortalidade (CARVALHO et al., 1999; MORAES, CARVALHO, 2002) e redução na fecundidade (CARVALHO et al., 1999; MORAES, CARVALHO, 2002; BASAGLI et al., 2003; GOMES et al., 2008; CAMARGO et al., 2008) de pulgões ápteros foram verificados com a aplicação de silício em gramíneas.

De forma análoga, ocorre redução da preferência de afídeos ápteros por plantas em que foi aplicado o silício (CARVALHO et al., 1999; CAMARGO et al., 2008; GOMES et al., 2008). Além disso, resultados de Alcantra et al. (2010) indicam não haver efeito da aplicação do silício na preferência de alados de *Aphis gossypii* Glover por plantas de algodoeiro. Assim, o efeito do silício sobre a colonização das plantas só foi comprovado para insetos ápteros, os quais apresentam pequena mobilidade.

Mesmo que diversos trabalhos sobre o papel do silício na indução de resistência por antibiose e não preferência já tenham sido conduzidos com pulgões, estudos com a espécie *S. avenae* são escassos. Além disso, o efeito do silício na biologia e na

preferência pela planta hospedeira da forma alada de afideos é pouco conhecido. Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram verificar o efeito da adubação silicatada sobre a biologia da forma alada e áptera do pulgão-da-espiga do trigo *S. avenae*; e verificar a não preferência de alados sobre plantas com e sem adubação com silício.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos morfológicos e econômicos do trigo

O trigo pertence à família Poaceae, tribo Triticeae, subtribo Triticinae. A espécie cultivada *Triticum aestivum* L. é hexaploide ($2n = 6x = 42$ cromossomos). Peixoto (2006) a descreve como sendo uma planta autógama, que possui flores perfeitas em forma de espiguetas dispostas em uma raque, constituindo a espiga, sua inflorescência terminal. Seu fruto é uma cariopse e é ovoide, mais ou menos alongado, e o sistema radicular é fasciculado e bem ramificado. Como produto do perfilhamento, possui diversos colmos eretos e providos de nós; suas folhas são alternas, dotadas de bainha invaginante e lâmina foliar lanceolada estreita.

Juntamente com o arroz e o milho, o trigo é um dos cereais mais consumidos no Brasil e no mundo e isso se deve, principalmente, às suas características nutricionais. Além disso, o trigo é um cereal relevante na dieta alimentar mundial por se adaptar às mais diferentes condições climáticas, podendo ser cultivado nos mais diversos ambientes (MOREIRA et al., 2006).

O trigo adapta-se melhor às latitudes 30° - 60° N e 27° - 40° S (NUTTONSON, 1955), porém pode ser cultivado fora desses limites, tanto em regiões subtropicais quanto tropicais, devido à sua elevada capacidade de adaptação aos diversos ambientes (CAIEIRÃO, 2009).

Para o trigo, não só o rendimento de grãos é importante, como também a qualidade do produto, ambos influenciados substancialmente pelas condições climáticas vigentes na região durante o cultivo. Os fatores preponderantes de risco nas áreas tropicais são a umidade e a temperatura do ar bastante altas durante o período reprodutivo e o enchimento de grãos, o que reduz a produção e causa a queda na qualidade tecnológica do produto (DALMAGO, 2009).

O trigo tem como centro de origem as regiões montanhosas do sudoeste da Ásia (Irã e Turquia), sendo uma das primeiras espécies vegetais domesticadas pelo homem. Ele é de grande importância na alimentação humana desde tempos remotos (CAIEIRÃO, 2009).

De acordo com Lagos (1983), no Brasil, a história desse cereal remonta ao ano de 1534, quando ele foi introduzido no país por Martin Afonso de Souza, no atual estado de São Paulo. Posteriormente, os primeiros povoadores, vindos dos Açores, o

levaram para o Sul, onde encontrou clima propício ao seu desenvolvimento e se estabeleceu. Ao longo dos anos sofreu quedas e destaques, mas hoje é uma cultura de extrema importância para o país.

A triticultura brasileira está concentrada na região Sul, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Porém, o cultivo de trigo não se restringe a essa área, abrangendo ainda os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, São Paulo e Minas Gerais. Na safra 2011/12, a área cultivada no Brasil atingiu 2.166,2 mil hectares, o que representa um discreto crescimento (0,8%) em relação à safra anterior. Destes, apenas os estados de Minas Gerais (2,2%), Distrito Federal (11,6%), São Paulo (6,1%) e Rio Grande do Sul (17,6%) apresentaram aumento na área plantada. Em mais de 90% da área cultivada, o sistema implantado é o de plantio direto, sendo que em Minas Gerais e Goiás observa-se parte das lavouras com irrigação (CONAB, 2012).

A produção brasileira, na safra 2011/12, atingiu 5.788,6 mil toneladas, quantidade 1,6% menor que a safra anterior, porém, a queda pode ser compensada pela qualidade superior do produto. A produtividade ficou em $2,672 \text{ kg ha}^{-1}$, 2,3% abaixo do colhido na safra 2010/11 (CONAB, 2012). Progressos na genética e no manejo, como a criação de novas cultivares com maior resistência a estresses bióticos e abióticos, melhor arquitetura de planta e aumento na qualidade industrial, são os fatores que possibilitaram atingir produtividades superiores a duas toneladas ha^{-1} (MOREIRA et al., 2006).

Para 2012, a tendência mundial é a redução dos preços do trigo, já que a oferta está elevada devido ao ótimo desempenho na colheita de vários países e a retomada do cultivo no Leste Europeu, o que gera excedente e deprime os preços. Esse cenário deverá influenciar negativamente a área plantada no Brasil e, possivelmente, no mundo (CAETANO, 2012).

O cerrado brasileiro tem se destacado nos últimos anos por apresentar alto potencial para a produção de diversas culturas não tradicionais a essa região, e uma que vem adquirindo proeminência é a do trigo. Dentre as cultivares desenvolvidas especificamente para tal área, evidencia-se a BRS 254, um genótipo lançado em 2004 pela Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo (CCBPT) (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 2005), e indicado para áreas irrigadas por aspersão nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Bahia e Distrito Federal (ALBRECHT et al., 2008).

A BRS 254 é de ciclo médio (56 dias da emergência ao espigamento e 120 da emergência a maturação) e de porte mediano, atingindo 86 cm, aproximadamente. É um material que apresenta alta qualidade industrial para a região do cerrado e que tem apresentado boa sanidade em relação às principais doenças no cerrado do Brasil Central (ALBRECHT et al., 2008).

As características mais marcantes da BRS 254 são a elevada qualidade industrial e o alto potencial de produção de grãos (6,8 ton ha⁻¹ em lavouras de boa fertilidade do solo na região tritícola do Distrito Federal e de Goiás). Essa cultivar também apresenta alto teor de proteínas nos grãos (em média 11,4%) e grãos do “tipo duro”, com boa tolerância a chuvas na pré-colheita (ALBRECHT et al., 2008).

2.2 Aspectos morfológicos e ecológicos dos pulgões

Os pulgões são insetos pequenos, de aproximadamente dois milímetros de comprimento, com corpo mole e de aspecto piriforme a ligeiramente alongado. Possuem aparelho bucal do tipo picador-sugador, antenas longas, dois sífúnculos ou cornículos (apêndices abdominais) e a codícola (uma pequena cauda). Suas ninfas assemelham-se bastante aos adultos, diferindo destes por não possuírem asas, são imaturas sexualmente e, geralmente, possuem coloração mais clara (SALVADORI; TONET, 2001).

Os pulgões apresentam ciclo de vida composto por uma fase com reprodução sexual e outra por partenogênese, chamado “holocíclico”. Entretanto, algumas espécies de pulgões apresentam apenas a reprodução partenogenética durante o ano, sem a fase sexual, sendo conhecidos como insetos anholocíclicos. Em condições tropicais, como na maior parte do Brasil, é incomum a ocorrência da fase sexuada, haja vista que as espécies holocíclicas dependem de condições de fotoperíodo e/ou temperatura muito específicas para o desenvolvimento de formas sexuais (BLACKMAN; EASTOP, 2000).

Em relação às suas plantas hospedeiras, os pulgões podem ser classificados em “heteroécios”, quando os hospedeiros primários e secundários são espécies vegetais diferentes; e “monoécios”, quando utilizam a mesma espécie. De modo geral, a planta hospedeira primária é geralmente uma árvore, e é onde ocorre a reprodução sexuada dos afídeos – ali acontece a postura dos ovos e deles nascem as ninfas (fundatrizes). A prole da fundatriz é a que irá se reproduzir nos hospedeiros secundários (geralmente plantas herbáceas) por meio de partenogênese (BLACKMAN; EASTOP, 2000).

A reprodução dos pulgões é afetada por diversos fatores bióticos e abióticos. De acordo com Tatchell e Parkers (1990), a reprodução dos afídeos é maior quando a temperatura é a ideal para a espécie, e quando a fonte de alimento está com suas características nutritivas mais adequadas para eles. Como característica marcante desses insetos, pode-se citar o elevado potencial biótico, uma das razões que os tornam pragas-chave da agricultura (FRAZER, 1988). Num curto espaço de tempo podem ser observadas colônias numerosas de pulgões, quando em condições favoráveis (SALVADORI; TONET, 2001).

A temperatura do ambiente e a qualidade do alimento afetam a capacidade de proliferação dos pulgões do trigo e a longevidade da espécie em estudo. De modo geral, temperaturas ao redor de 18°C a 25°C e escassez de chuva otimizam o desenvolvimento e a reprodução dos afídeos. Um dos principais determinantes da ocorrência de pulgões em trigo é o clima: chuvas intensas ou prolongadas e o frio, assim como a presença de inimigos naturais, afetam negativamente a proliferação dos afídeos (GASSEN, 1988; SALVADORI; TONET, 2001).

Os pulgões produzem duas formas de adultos, os alados e os ápteros. A constituição de uma prole formada por insetos alados representa elevado investimento energético para as fêmeas (DIXON et al., 1993); portanto, ela é maximizada em condições específicas quando o ambiente se apresenta desfavorável e quando há alta densidade populacional e baixa qualidade do hospedeiro (MÜLLER et al., 2001).

Kuo (1999) cita que, se a densidade populacional dos afídeos é elevada, a tendência de formação de prole alada é muito maior; contudo, esse não é o único fator de indução de forma alada em afídeos. A presença de inimigos naturais (PEREIRA; LOMÔNACO, 2003), a insolação, a umidade relativa do ar (CIVIDANES; SANTOS-CIVIDANES, 2010), a temperatura (AHEER et al., 2008; CIVIDANES; SANTOS-CIVIDANES, 2010), o fotoperíodo (HODGSON et al., 2005) e as mudanças na qualidade nutricional da planta hospedeira (MIRMOHAMMADI et al., 2009) também são capazes de influenciar o aparecimento de alados.

Cada adulto alado produzido que deixa a planta hospedeira inicial tem potencial para fundar uma nova colônia, visto que os pulgões são extremamente eficientes em explorar plantas hospedeiras desde o momento em que o contato inseto-planta é feito (POWELL et al., 2006). Além da dispersão, de acordo com Blackman (1990), os afídeos alados são adaptados para localizar e escolher novos hospedeiros, o que os torna mais adequados para testes de não preferência.

A maioria dos afídeos alados possui fecundidade inferior à capacidade reprodutiva dos pulgões ápteros. A reprodução de insetos alados é concentrada nos primeiros dias da vida reprodutiva do inseto e sua prole é menor, indicando a importância de maximizar a reprodução no período adequado (DIXON, 1987).

Powel et al. (2006), em sua revisão, mostram que a escolha da planta hospedeira pelo afídeo envolve uma série de respostas a vários estímulos químicos e físicos, e ainda definem os conceitos de preferência e aceitação. A preferência por determinada planta é um termo usado para designar um comportamento que determina o acúmulo do maior número de insetos numa planta em comparação a outra. A aceitação pela planta, por sua vez, acontece em termos de alimentação e/ou reprodução, sendo que o início da reprodução é a evidência de que a planta foi aceita.

2.3 Pulgões na cultura do trigo

De acordo com Salvadori et al. (2009), existe uma estimativa de que mais de 100 espécies de insetos estão associadas ao trigo; no entanto, apenas um pequeno número pode ser considerado prejudicial a ponto de ser designado como praga. De modo geral, as principais pragas do trigo são os percevejos, as lagartas desfolhadoras, os corós e os pulgões, sendo que a importância de cada uma das espécies varia entre as localidades. Dentre elas, os pulgões são considerados as principais pragas da cultura.

Os pulgões, também conhecidos como afídeos (Hemiptera, Aphididae), podem ser encontrados atacando lavouras tritícolas em todo o Brasil, sendo que a espécie e a época de ocorrência variam entre as regiões produtoras. Os afídeos que atacam o trigo não são específicos, podendo ser encontrados alimentando-se de outras espécies vegetais, especialmente cereais de inverno como cevada, triticales e aveia (SALVADORI; TONET, 2001).

As espécies de afídeos mais comumente associadas ao trigo são *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1849); *Schizaphis graminum* (Rondani); *Sitobion avenae* (Fabricius); *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) e *Rhopalosiphum rufiabdominalis* (Sasaki) (FAGUNDES, 1972; BERTELS, 1973; GASSEN, 1984; RUBIN-DE-CELIS et al., 1997a, 1997b; SALVADORI; TONET, 2001; SILVA et al., 2004; PEREIRA et al., 2010). Outras espécies como o pulgão-do-milho – *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) – e o pulgão-amarelo – *Sipha flava* (Forbes) – podem ocorrer esporadicamente em plantas de trigo (SALVADORI et al., 2009).

A espécie *S. graminum* (conhecida como pulgão-verde-dos-cereais) alimenta-se principalmente de seiva nas folhas, e seu ataque acontece logo ao início do ciclo da cultura; *M. dirhodum*, o pulgão-da-folha, ataca preferencialmente as folhas; *S. avenae* (pulgão-da-espiga) ataca principalmente as espigas, mas também está presente nas folhas; *R. padi* (pulgão-do-colmo) ataca, sobretudo, o colmo; e *R. rufiabdominale* (pulgão-da-raiz) está associado ao ataque nas raízes (SALVADORI et al., 2009).

O pulgão-verde-dos-cereais, até a década de 1970, constituía o maior problema nas áreas tritícolas brasileiras, situação que se modificou após a introdução dos pulgões *M. dirhodum* e *S. avenae*. O pulgão-da-folha e o da espiga foram introduzidos no sul da América do Sul em um momento que o Brasil passava pela expansão das lavouras de trigo. Essa situação, conjugada com o fato de que os pulgões, nativos da Europa e Ásia, entraram livres de seus inimigos naturais, levou à explosão populacional e à vasta dispersão dos insetos nas regiões de cultivo do trigo de clima mais frio – Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o sul do Paraná (SALVADORI, 1999; SALVADORI; TONET, 2001).

Ao se constituírem, nos anos 1970, como as principais pragas da cultura de trigo e de outros cereais de inverno, os pulgões *M. dirhodum* e *S. avenae*, atingiram populações muito elevadas em pouco tempo, provocando reduções no rendimento da ordem de até 88% em áreas sem o controle de pulgões. Estima-se que, no período entre 1967-1972, esses insetos tenham causado prejuízos da ordem de 20% na produção tritícola do sul do Brasil (CAETANO, 1973; SALVADORI, 1999).

2.4 Hábito alimentar e danos causados pelos pulgões do trigo

Os pulgões do trigo, tanto ninfas como os adultos, alimentam-se inserindo seu estilete no floema e sugando a seiva das plantas, desde a emergência das plântulas até a formação completa dos grãos (estágio de grão em massa) (SALVADORI; TONET, 2001; SALVADORI et al., 2009). Dependendo da espécie de afídeo, da intensidade do ataque e do estágio de desenvolvimento da planta no momento da infestação, o tipo e a severidade dos danos variam (KIECKHEFER; KANTACK, 1980; KINDLER et al., 2002).

A preferência pelo local de ataque varia entre as espécies de pulgões. Geralmente, o primeiro pulgão a se instalar na cultura é *S. graminum*, que inicia seu ataque desde a emergência das plantas – em regiões mais frias, essa espécie se restringe

à fase de emergência e afilhamento; *Metopolophium dirhodum* aparece em seguida, instalando-se nas folhas desde o afilhamento ao espigamento das plantas de trigo; *Sitobion avenae* inicia sua alimentação nas folhas, preferencialmente na folha bandeira, e posteriormente passa para as espigas; com preferência de alimentação pelo colmo, *R. padi* instala-se nesse segmento, também ocorrendo nas folhas e espigas; e *Rhopalosiphum rufiabdominale* normalmente incide nas raízes e na base do colmo, geralmente em reboleiras (SALVADORI; TONET, 2001).

Em decorrência de seu hábito alimentar, os danos causados pelos pulgões podem ser de natureza direta – pelo depauperamento em função da sucção de seiva e injeção de toxinas, e indiretos – por meio da transmissão do vírus do nanismo amarelo da cevada (*Barley Yellow Dwarf Virus*, BYDV) (GASSEN, 1984; SALVADORI; TONET, 2001; SILVA et al., 2004, LAU et al., 2008).

O resultado da sucção de seiva pelos pulgões é o amarelecimento, secamento e morte de plântulas e de folhas até redução no número, tamanho e peso dos grãos e no poder germinativo das sementes (FAGUNDES, 1972; EICHLER et al., 1977). *Schizaphis graminum* possui saliva tóxica, a qual retarda o crescimento de raízes, prejudica o perfilhamento, causa o secamento e a morte de plântulas e folhas (SALVADORI; TONET, 2001; PEREIRA et al., 2010).

O *Barley Yellow Dwarf Virus* (BYDV) é um vírus transmitido somente por afídeos e que afeta a produção devido ao atrofiamento de raízes, à redução do perfilhamento, ao aumento de suscetibilidade a fungos patogênicos e a adversidades ambientais. Ele causa, ainda, a redução na altura da planta, no tamanho da espiga e no desenvolvimento radicular (JEDLINSKI, 1981; CASA et al., 2000; CHAPIN et al., 2001; SALVADORI; TONET, 2001).

2.5 *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775)

O pulgão *S. avenae* foi introduzido no Brasil em 1966 e causou danos alarmantes, possivelmente pela falta de parasitoides na região (ZUÑIGA, 1990). *Sitobion avenae* coloniza as plantas em períodos de temperaturas mais amenas, como na primavera, e inicia seu ataque nas folhas, passando para as espigas e se alimentando de seiva na base da espigueta (SALVADORI et al., 2009).

Os adultos ápteros são de cor amarelo-esverdeada, às vezes quase preta, geralmente com uma mancha negra na região dorsal do abdômen. Seu corpo é alongado,

medindo de 1,75 a 2,25 mm de comprimento, suas antenas negras possuem seis segmentos e têm $\frac{3}{4}$ do comprimento do corpo, ultrapassando a base dos sífúnculos. Os olhos são castanho-avermelhados, a cauda é de coloração esverdeada clara e com dois a cinco pares de cerdas laterais, podendo apresentar uma seta pré-apical, com $\frac{3}{4}$ do comprimento dos sífúnculos, os quais são alongados, cilíndricos e de coloração negra. Suas pernas são pretas e as tíbias esverdeadas, sendo que os adultos alados apresentam corpo similar aos ápteros, mas com manchas escuras entre os segmentos dorsais (BERTELS, 1973; SALVADORI et al., 1983; BLACKMAN; EASTOP, 1984; SALVADORI; TONET, 2001; STOETZEL; MILLER, 2001).

A longevidade de *S. avenae* varia entre 29,7 a 35,9 dias; nesse período, a fecundidade dos insetos é de 31,7 a 40,1 ninfas. Esses dados variam bastante, o que pode ser em função de fatores bióticos e ou abióticos, como a condição nutricional do alimento, a presença de inimigos naturais, as condições climáticas, entre outros aspectos (GASSEN 1988; GASSEN, 1993; CELIS et al., 1997).

De acordo com Blackman e Eastop (2000), a espécie *S. avenae* é monoécia e holocíclica, tendo várias gramíneas como plantas hospedeiras. Todavia, em regiões de clima com inverno mais ameno é comum o desenvolvimento anholocíclico, como no Brasil.

2.6 Métodos de controle dos pulgões do trigo

Na atualidade, o conceito mais difundido e amplamente aplicado é o de Manejo Integrado de Pragas (MIP). De forma simplista, o MIP visa à utilização de vários métodos de controle pautados na amostragem e no monitoramento das principais pragas da cultura, com o intuito de controlar a praga sem agredir o meio ambiente e o ser humano (SALVADORI; TONET, 2001; SALVADORI et al., 2009).

Na cultura do trigo, a amostragem deve ser semanal e aleatória na lavoura, e o controle químico deve ser feito quando 10% das plantas estiverem infestadas com pulgões (da emergência ao afilhamento); quando houver uma média de 10 pulgões por afilho (da alongação ao emborrachamento); ou quando tiver uma média de 10 pulgões por espiga (do espigamento ao grão em massa) (REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2011).

De acordo com Salvadori e Tonet (2001), os pulgões são insetos facilmente controlados com inseticidas diluídos em água e aplicados via pulverização. Além disso, o tratamento de sementes com tais substâncias tem mostrado resultados positivos.

Dentre os vários grupos químicos de inseticidas que se prestam ao controle dos pulgões, são sugeridos aqueles registrados para a cultura e que apresentam menor toxicidade aos mamíferos e inimigos naturais. Ressalta-se que o controle dos pulgões após o estágio fenológico de grão em massa não precisa ser efetuado, visto que a partir desse momento eles não atacam mais o trigo (MOREIRA et al., 2006).

O controle biológico é um método em que são usados agentes naturais para o controle de pragas. Alimentando-se de pulgões, são encontradas diversas espécies, as quais estão distribuídas entre parasitoides, predadores e entomopatógenos. Os principais predadores de pulgões do trigo são larvas e adultos de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae), larvas de moscas (Diptera: Syrphidae) e de crisopídeos (Neuroptera: Chrysopidae) (SALVADORI; TONET, 2001). De acordo com Gassen (1988), a joaninha *Cycloneda sanguinea* Linnaeus chega a se alimentar em média de 27 pulgões/dia, a joaninha *Eriopis conexa* Germar, de 43 e a larva do díptero *Allograpta* sp., de 37 pulgões diariamente.

Em condições adequadas de temperatura e umidade relativa do ar elevadas, os fungos da ordem Entomophthorales (como *Conidiobolus obscurus*, *Entomophthora planchoniana*, *E. neoaphis*, *E. sphaerosperma* e *Zoophthora radicans*) exercem importante ação sobre os pulgões (ZUÑIGA, 1982; GASSEN; TAMBASCO, 1983; GASSEN, 1986).

Naturalmente, no Brasil, o nível de parasitismo dos pulgões do trigo nos anos 1970 era insignificante, o que acarretou explosão populacional da praga e levou os produtores a fazerem várias aplicações de produtos químicos para controlá-la (KOBBER, 1972). Zuñiga (1982) fez uma estimativa de duas aplicações por safra, em média.

Diante desse quadro alarmante, de 1978 a 1982, a Embrapa Trigo importou 14 espécies de parasitoides (Hymenoptera: Aphidiinae e Aphelinidae) de países da Europa e do Oriente Médio, as quais foram produzidas massalmente e liberadas nos campos de trigo no Sul do país. Foram cerca de 20 milhões de insetos produzidos e liberados nas lavouras, sendo 74% no Rio Grande do Sul e 21% no Paraná (SALVADORI; TONET, 2001).

Das espécies de vespas introduzidas, algumas se estabeleceram e atingiram níveis de parasitismos bastante elevados. Pode-se dizer que, nos anos 1980, os pulgões

da folha e da espiga do trigo estavam controlados e o uso de químicos, extremamente reduzido. Ademais, as vespas passaram a agir nos locais de sobrevivência e multiplicação dos pulgões na entressafra do trigo e estenderam sua ação aos afídeos de outros cereais de inverno (ZUÑIGA, 1982; SALVADORI; TONET, 2001).

Um terceiro método de controle de pulgões é a resistência genética de plantas. Esse método se enquadra perfeitamente dentro do conceito de MIP e é uma das tecnologias mais interessantes para o produtor, visto que não há custo adicional e não é necessária aplicação de produto algum – a genética já está na semente (SALVADORI; TONET, 2001; GALLO et al., 2002).

A resistência é algo que acontece naturalmente na natureza e é definida como uma condição da planta que a permite superar danos e alcançar a produtividade desejada quando comparada com outras em condições de igualdade. Uma premissa da resistência é sua herdabilidade, ou seja, ela é hereditária (PAINTER, 1951). Esse autor classificou ainda a resistência em três mecanismos diferentes: antibiose, tolerância e não preferência ou antixenose (KOGAN; ORTMAN, 1978). Os três tipos podem coexistir, visto que seus determinantes genéticos são independentes. Além disso, uma espécie vegetal pode ser suscetível a um inseto e resistente a outro; e também pode haver diferenças dentre as cultivares de determinada espécie vegetal, sendo que uma pode apresentar resistência a um inseto, enquanto outra tem a possibilidade de ser suscetível a ele (PAINTER, 1951)

A antibiose ocorre quando o inseto, após a alimentação, sofre algum efeito adverso sobre seus aspectos biológicos (PAINTER, 1951). Isso pode caracterizar sobrevivência de formas jovens, redução em tamanho e peso de indivíduos, diminuição de fecundidade e alterações na taxa de mortalidade, na longevidade e na proporção sexual (LARA, 1979).

A tolerância acontece quando uma planta, comparada a outra sob um mesmo nível de infestação da praga, sofre menos danos e não há efeito algum sobre a biologia e o comportamento do inseto. Portanto, a planta sofre o ataque, mas consegue não sofrer prejuízos significativos quanto à quantidade e qualidade do produto (PAINTER, 1951).

No caso de resistência por não preferência, o efeito é sobre o comportamento do inseto. Durante o processo de escolha do hospedeiro pela praga, a planta causa uma resposta negativa, não sendo escolhida. Portanto, essa cultivar é menos utilizada para alimentação, oviposição ou abrigo do que outras plantas em igualdade de condições (PAINTER, 1951).

Como exemplo, Silva (2011), ao estudar a resistência de diferentes cultivares de trigo em relação a *S. avenae*, verificou que existe variação da resistência por antibiose das cultivares de trigo a *S. avenae* em função da parte vegetal e/ou idade fenológica das plantas nas quais o pulgão se desenvolve. Quando comparadas, a cultivar BRS Timbaúva foi suscetível, e Embrapa 22, resistente a *S. avenae*, tanto nas folhas de plantas em fase vegetativa, como na espiga, fase reprodutiva das plantas. Já BRS 254 foi resistente ao pulgão, quando avaliadas suas espigas, e suscetível quando avaliadas as folhas. O contrário foi observado na BRS 264, a qual foi resistente nas folhas e suscetível quando avaliadas as espigas. Nesse mesmo trabalho, Silva (2011) verificou que as espigas das cultivares BRS Timbaúva, Embrapa 22, BRS 254 e BRS 264 não apresentaram diferenças quanto ao mecanismo de resistência por não preferência ao pulgão *S. avenae*.

De acordo com Vendramim e Castiglioni (2000), uma série de características morfológicas e um complexo de substâncias químicas estão entre os mecanismos de defesa da planta contra os insetos. De alguma forma, a presença de estruturas e moléculas na planta a torna inadequada, repelente e até tóxica aos insetos.

Os fatores ambientais influenciam na interação planta-inseto. A temperatura, a pluviosidade, a radiação solar, o nível de fertilidade do solo, entre outros, afetam o nível de resistência (ou a suscetibilidade da planta) em relação ao inseto (KOGAN; PAXTON, 1983).

2.7 Silício

O silício, após o oxigênio, é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre. Mesmo assim, dentro do critério de essencialidade de Arnon e Stout (1939), ele não é considerado um elemento essencial para as plantas, visto que não há nenhuma evidência de sua participação no metabolismo vegetal (MA; YAMAJI, 2008).

Mesmo com a enorme quantidade de silício na crosta e nos solos, as formas disponíveis para as plantas geralmente estão escassas, principalmente em solos antigos, intemperizados ou em áreas com longo histórico de cultivo (GURR; KVEDARAS, 2010), o que coincide com a condição do cerrado brasileiro.

O silício está presente na fase sólida dos solos, como silicato de alumínio nos minerais de argila e minerais cristalinos, e também como estruturas amorfas, a exemplo

dos fitólitos de plantas. Na solução do solo, o silício está presente na forma de ácidos mono e polissilícicos, e como complexos com compostos orgânicos e inorgânicos.

O ácido monossilícico é a forma absorvida pelas plantas e tem influência direta no desenvolvimento das lavouras. Já os ácidos polissilícicos e os complexos de silício com compostos inorgânicos e orgânicos são importantes na relação fonte/dreno, repondo a solução do solo e possibilitando o contínuo uso pelas culturas (SAVANT et al., 1999).

O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico Si(OH)_4 , uma molécula sem carga monomérica (TAKAHASHI; HINO, 1978; RAVEN, 1983), e depositado em diferentes partes das plantas como sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (RAVEN, 1983). Essa forma é a mais abundante na solução do solo em pH abaixo de 9 (JONES; HANDRECK, 1967; TAKAHASHI; HINO, 1978).

Mesmo admitindo que todas as plantas contêm silício, existe uma enorme variação entre as espécies vegetais quanto ao acúmulo desse elemento (MA; YAMAJI, 2008). A concentração de silício na parte aérea das plantas pode variar de 0,1% a 10% do peso seco entre as espécies (EPSTEIN, 1999; MA; TAKAHASHI, 2002; HODSON et al., 2005). Dentre as angiospermas, apenas as espécies das famílias Cyperaceae e Gramineae apresentam elevado acúmulo de silício (MA; TAKAHASHI, 2002; HODSON et al., 2005). Russel (1961) assevera que a sílica nas folhas de gramíneas constitui de 2% a 5% da matéria seca; isso representa um nível de 10 a 20 vezes maior que o encontrado nas dicotiledôneas.

Também existe uma variação genotípica na concentração de silício na parte aérea das plantas dentro de uma mesma espécie, embora essa variação, geralmente, não seja tão grande quanto a que existe entre as espécies (MA; YAMAJI, 2008). Por exemplo, em cana cultivada em campo, Deren (2001) observou que a concentração de silício entre os genótipos estudados variava significativamente (de 6,4 a 10,2 mg g^{-1}). Esse autor também observou que, em arroz, aparentemente, *Oryza sativa* ssp. *indica* é menos eficiente na acumulação de silício que *O. sativa* ssp. *japonica* – tal diferença de acúmulo de silício entre as subespécies tem sido atribuída à habilidade das raízes das plantas em absorver o ácido silícico da solução do solo (TAKAHASHI, 1990).

Rafi e Epstein (1999) estudaram a absorção de silício por plantas de trigo e concluíram que tais plantas absorvem rapidamente o silício presente em solução nutriente a 0.5 mM. Epstein (1994) afirma que essa concentração é o que se encontraria do elemento na solução do solo.

Rafi e Epstein (1999) mostraram que o silício é rapidamente absorvido por plantas de trigo que tiveram seu desenvolvimento inicial em solução nutritiva que o continham. Plantas próximas da maturação fisiológica, que foram colocadas previamente em solução com silício, absorveram-no praticamente à mesma taxa que plantas que cresceram em solução isenta do elemento. Os resultados mostraram que a exposição prévia ao silício tem um efeito muito pequeno sobre a taxa na qual as plantas o absorvem e o exaurem da solução nutritiva. Verificou-se que aproximadamente 90% do elemento absorvido da solução pelas plantas foi carregado para os perfilhos, mantendo as raízes em relativo estado de “falta de silício”, o que propiciaria a contínua absorção do nutriente. Desse modo, o trigo é uma planta que acumula silício avidamente (RAFI; EPSTEIN, 1999).

Para o trigo, a premissa de que o silício é transportado por fluxo de massa, junto com a água, não pode ser sustentada (JARVIS, 1987; MAYLAND et al., 1991; RAFI; EPSTEIN, 1999). Um dos experimentos de Rafi e Epstein (1999) mostrou que as plantas que não sofreram exposição prévia ao silício o exauriram (0,5 mM) de 100 litros de água em três dias, ao passo que a perda desse líquido foi mínima.

No que tange à deposição do silício em folhas de trigo, Hodson e Sangster (1988) postulam que ela ocorre predominantemente na epiderme inferior em folhas novas, ao passo que, em folhas velhas, tal elemento se deposita em ambas as epidermes. Esses autores também relatam que foram encontrados resquícios de silício em células bulbiformes, epidérmicas, parede dos tricomas, esclerênquima epidermal e subepidermal, mesófilo e nos diversos tipos de sistemas vasculares presentes nas folhas.

A função do silício nas plantas é protegê-las dos vários estresses bióticos e abióticos (MA; TAKAHASHI, 2002; MA; YAMAJI, 2006). Sendo assim, o efeito positivo do silício no desenvolvimento das plantas se torna evidente sob condições de estresse, mas não sob condições normais (MA, YAMAJI, 2008).

Nos estresses abióticos, o silício tem efeitos benéficos sobre os estresses químicos (salinidade, toxicidade por algum metal, desbalanço nutricional) e os físicos (seca, radiação, elevadas temperaturas, congelamento) (MA, 2004; MA; YAMAJI, 2006). Esses efeitos positivos têm sido atribuídos a: redução da transpiração e perda de água devido à deposição de silício abaixo da cutícula; quelatização do silício com metais tóxicos; melhoria na rigidez do caule; e redução da absorção de minerais tóxicos devido à deposição de silício nas raízes (MA; TAKAHASHI, 2002).

Os insetos herbívoros representam para as plantas uma classe de estresses bióticos que o silício pode fornecer alguma defesa (LAING et al., 2006). Os efeitos desse elemento sobre fatores bióticos vêm sendo amplamente estudados; contudo, em comparação às doenças de plantas, sua interação com os insetos tem sido pouco explorada (KEEPING, KVEDARAS, 2008).

2.8 O papel do silício na resistência induzida de plantas

O principal mecanismo de defesa contra os insetos pelo silício é a formação de uma barreira, devido ao acúmulo e à polimerização de sílica amorfa nas células epidérmicas, proporcionando resistência mecânica à alimentação dos insetos e/ou à penetração do aparelho bucal dos mesmos (MORAES et al., 2004; KVEDARAS; KEEPINGS, 2007). Tal enrijecimento das folhas proporciona desgaste na mandíbula de insetos mastigadores, o que pode levar ao aumento da mortalidade de insetos, como observado por Goussain et al. (2002), trabalhando com *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em milho, e por Kvedaras et al. (2009), com a broca do colmo *Eldana saccharina* (Walker) em cana-de-açúcar.

Outra consequência da formação da barreira mecânica é a influência negativa em parâmetros biológicos dos insetos. Gomes et al. (2005) verificaram que a aplicação de silicato de cálcio com ou sem a infestação prévia de *S. graminum* reduziu a fecundidade desses insetos em plantas de trigo. Resultado semelhante foi encontrado por Basagli et al. (2003), sendo observada a redução de longevidade e produção de ninfas do pulgão-verde após a aplicação de silicato de sódio em plantas de trigo. Correa et al. (2005), trabalhando com *Bemisia tabaci* (Gennadius) – biótipo B em pepino, verificaram que a aplicação de silício afetou negativamente a dinâmica populacional da mosca-branca por haver redução de oviposição, aumento do ciclo biológico e aumento da mortalidade na fase de ninfa.

A aplicação de silício também confere resistência por não preferência, ou antixenose. Camargo et al. (2008) verificaram que a aplicação de silício em mudas de *Pinus taeda* reduziu a preferência de adultos do pulgão-gigante-do-pinus *Cinara atlantica* (Wilson). O pulgão *S. graminum* é bastante estudado e, em diversos trabalhos, foi observada a resistência por não preferência em sorgo e trigo (CARVALHO et al., 1999; BASAGLI et al., 2003; GOMES et al., 2005).

Muitos autores, ao avaliarem a infestação para definir a não preferência, quantificam o número de ninfas produzidas durante o período de avaliação. Os resultados dessa metodologia são respostas da planta tanto por não preferência (avaliação dos adultos), como de biologia (contagem das ninfas), combinando os tipos de resistência por antixenose e antibiose. Isso pode ser observado nas pesquisas de Basagli et al. (2003), Gomes et al. (2005) e Gomes et al. (2008).

Massey et al. (2006) demonstraram outro efeito do silício no aumento da abrasividade e na redução da palatabilidade das folhas. Esses autores observaram que a adição de silício também agiu como um deterrente alimentar e reduziu o crescimento dos dois insetos mastigadores estudados (o lepidóptero *Spodoptera exempta* Walker e o gafanhoto *Schistocerca gregaria* Forskal), mas não teve efeito sobre a preferência alimentar e o crescimento populacional da espécie sugadora (*S. avenae*). Eles alegam, ainda, que a forma como o sugador se alimenta pode evitar a sílica, posto que, ao inserir o estilete no floema, tal composto estaria isolado na epiderme. Todavia, essa explicação é contrária ao principal mecanismo de defesa atribuído ao silício: formação de uma barreira que proporcione resistência mecânica à penetração do aparelho bucal dos insetos sugadores (MORAES et al., 2004).

Outra hipótese proposta que explica o motivo pelo qual o silício aumenta a resistência contra pragas e doenças é que ele está diretamente relacionado às reações específicas de defesa na planta. Para isso, esse composto seria um elicitador, elemento que desencadeia o processo de resistência induzida e estimula defesas na planta por meio da produção de compostos fenólicos. De acordo com Basagli et al. (2003), a resistência induzida de plantas a insetos é uma importante estratégia dentro do Manejo Integrado de Pragas, pois ela visa à redução de efeitos deletérios dos defensivos químicos amplamente utilizados.

De acordo com Karban e Myers (1989), a resistência induzida é um fenômeno que ocorre nas plantas pela ativação de mecanismos de defesa em consequência de estresses em geral, sejam eles bióticos ou abióticos. Dentre os eventos relacionados à indução de resistência está a intensificação da atividade de enzimas de defesa, como peroxidases (POX), polifenoloxidasas (PPO), fenilalanina amônia-liase (PAL) e outros compostos fenólicos. Em função disso ocorre redução na sobrevivência do herbívoro, na sua reprodução e/ou em sua preferência pela planta hospedeira (KARBAN, MYERS, 1989). Chérif et al. (1994) verificaram que plantas de pepino com aplicação de silício apresentavam aumento da atividade das quitinases, peroxidases e polifenoloxidasas,

sendo mais intensa e com uma ativação mais rápida após a infecção com *Pythium* spp. Gomes et al. (2005) mostram que o silício age como elicitador, pela indução de defesas em plantas de trigo e que esse efeito é potencializado pela presença de afídeos na planta. Além disso, Gomes et al. (2008) observaram um aumento no teor de lignina e de taninos em folhas de plantas adubadas com silício.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Criação de *S. avenae*

Os pulgões usados nos experimentos foram coletados numa lavoura de trigo no *campus* da Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras (MG), e mantidos em gaiolas de acrílico (58 x 28 x 28 cm) em sala climatizada a $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 12 horas de fotofase. Para a criação dos pulgões foram utilizadas plantas de trigo da cultivar BRS 254, produzidas em casa de vegetação e em vasos com substrato comercial para mudas, com população de 10 plantas por vaso. As plantas utilizadas na criação de *S. avenae* apresentavam a inflorescência completamente desenvolvida, no estágio 58 a 60 – de acordo com a escala de Zadoks (ZADOKS et al., 1974) –, e foram trocadas a cada sete dias, aproximadamente, quando estavam iniciando seu depauperamento. Para a criação dos insetos e os experimentos foi utilizada a cultivar BRS 254, selecionada com base no trabalho de Silva (2011). O autor comparou cultivares de trigo recomendadas para o cerrado, em que a BRS 254 se comportou como suscetível por antibiose ao pulgão da espiga, quando avaliadas as folhas destacadas da planta. De acordo com o mesmo autor, nenhuma das cultivares testadas apresentou resistência por não preferência para ápteros de *S. avenae* quando avaliadas as espigas.

3.2 Preparo do solo usado nos experimentos

O solo utilizado nos experimentos foi o Neossolo Quartzarênico Órtico típico, coletado na fazenda do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia no município de Uberlândia (MG). O solo apresentou 81% de areia, 5% de silte, 14% de argila e $1,2\text{ mg dm}^{-3}$ de silício, sendo escolhido devido à sua pequena quantidade deste último elemento disponível às plantas.

Após a coleta, o solo foi peneirado e, depois de seco, foi colocado em sacos de 50 kg e deixado para incubar por 30 dias. No processo de incubação foi colocado, com base em análise de solo, o equivalente a 970 kg ha^{-1} de carbonato de cálcio e 380 kg ha^{-1} de carbonato de magnésio, dissolvidos em seis litros de água.

Após o período de incubação foi feita a adubação do solo: 80 kg ha^{-1} de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato

simples, 50 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de FET BR 12 (fonte de micronutrientes).

No solo utilizado no tratamento com silício, foi adicionado o correspondente a 600 kg ha⁻¹ desse elemento, sendo que 300 kg ha⁻¹ de silício (na forma de sílica gel dissolvida em água) foram adicionados ao solo na incubação, e os outros 300 kg ha⁻¹ (na forma de sílica gel triturada e após a incubação), na adubação do solo.

3.3 Efeito do silício no desenvolvimento e na reprodução de *S. avenae*

3.3.1 Biologia de S. avenae

O cultivo das plantas para a avaliação do efeito do silício na biologia de ápteros e alados de *S. avenae* foi feito em casa de vegetação. As sementeiras foram realizadas a cada cinco dias, para que a fase de desenvolvimento das plantas utilizadas no experimento fosse sempre a mesma. O solo foi preparado conforme descrição no item 3.2 e colocado em vasos de 5 kg, nos quais foram semeadas 16 sementes (duas por sulco), para garantir a população final de, no mínimo, oito plantas por vaso. No experimento foram utilizadas as folhas três a cinco totalmente desenvolvidas de plantas na fase 14 a 15 (ZADOKS et al., 1974), aos 25 dias após a semeadura.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Entomologia e Controle Biológico (LACOB), em câmara climática tipo BOD, com temperatura de 23 ± 1°C, fotofase de 12 horas e umidade relativa de 50-55%.

Em placas de Petri, de cinco centímetros de diâmetro, foi colocada uma seção foliar de dois centímetros da cultivar BRS 254 sobre uma camada de ágar-água a 1%, a qual manteve a turgescência da folha. Em cada placa foi colocado um adulto alado por 24 horas. As placas foram tampadas com organza, para impedir a fuga dos insetos, e deixadas de cabeça para baixo, a fim de simular as condições naturais em que o pulgão prefere se posicionar. Após o período de 24 horas, o adulto foi removido e foi deixada apenas uma ninfa por placa.

As placas foram trocadas a cada cinco dias. Foram realizadas avaliações diárias e utilizados 200 pulgões (100 na testemunha e 100 no tratamento com silício). Essa metodologia foi escolhida por ser confiável na verificação do efeito do silício na biologia de pulgões e por permitir várias repetições em pequeno espaço físico e com fácil manuseio (M. P. Rodrigues e M. V. Sampaio, dados não publicados).

Foram avaliados a mortalidade de imaturos, o período de desenvolvimento (duração da fase de ninfa, em dias), a longevidade (período, em dias, da fase adulta até a morte do inseto), as fecundidades diária e total (respectivamente, média do número de ninfas por dia e o total de ninfas produzidas por fêmea durante a fase adulta), períodos pré-reprodutivo (até a postura da primeira ninfa), reprodutivo (período em que a fêmea efetivamente reproduz) e pós-reprodutivo dos pulgões (período em que o inseto para de reproduzir até a sua morte, em dias).

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk, e a homogeneidade das variâncias, através do teste de Levene, no *software* SPSS 16.0 a um ou cinco por cento de probabilidade.

Como houve mortalidade das ninfas antes de ser possível visualizar as asas em formação, a mortalidade de imaturos foi constituída de dois tratamentos (testemunha e com silício) e os resultados foram agrupados a cada 10 insetos, totalizando o mesmo número de repetições.

As médias foram comparadas pelo teste F (5% de probabilidade), em que os parâmetros biológicos de *S. avenae* foram formados por quatro tratamentos: insetos alados alimentados em plantas não adubadas com silício; insetos ápteros alimentados em plantas não adubadas com silício; insetos alados alimentados em plantas que receberam adubação silicatada; e insetos ápteros alimentados em plantas que receberam adubação silicatada. Os resultados foram agrupados a cada 10 insetos, formando cinco repetições. Além disso, foi realizada a Análise de Variância (ANAVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

3.3.2 Tabela de vida de fertilidade de *S. avenae*

Os dados biológicos de *S. avenae* desenvolvido em plantas sem e com adubação silicatada foram utilizados para o cálculo da tabela de vida de fertilidade. Foram calculados os principais parâmetros associados à tabela de vida de fertilidade, conforme Andrewartha e Birch (1954): a taxa líquida de reprodução (R_0), número de ninfas produzidas por fêmea ao longo de sua vida; a taxa líquida de aumento (r_m), parâmetro relacionado à taxa de crescimento populacional; intervalo médio entre gerações (T), tempo entre o nascimento das ninfas de uma geração e da seguinte; razão finita de crescimento (λ), fator de multiplicação da população original a cada intervalo unitário

de tempo; e o tempo necessário para duplicar a população inicial (TD). Os cálculos foram baseados nas seguintes equações:

$$R_0 = \sum (m_x l_x)$$

$$T = (\sum m_x l_x \cdot x) / \sum (m_x l_x)$$

$$r_m = \log_e R_0 / T = \ln R_0 / T$$

$$\lambda = e^{r_m}$$

$$TD = \ln(2) / r_m$$

Em que:

x – intervalos de idade

m_x – fertilidade específica;

l_x – probabilidade de sobrevivência;

R₀ – taxa líquida de reprodução;

r_m – taxa intrínseca de aumento populacional;

T – intervalo de tempo entre cada geração;

λ – razão finita de aumento populacional;

TD – tempo necessário para a população duplicar-se em quantidade.

O experimento foi formado por quatro tratamentos: insetos alados alimentados em plantas não adubadas com silício; insetos ápteros alimentados em plantas não adubadas com silício; insetos alados alimentados em plantas que receberam adubação silicatada; e insetos ápteros alimentados em plantas que receberam adubação silicatada. A tabela da vida de fertilidade de *S. avenae* foi feita com o uso da técnica de Jackknife (MEYER et al., 1986), sendo que as médias foram comparadas bilateralmente pelo teste “t” de Student usando o *software* LIFETABLE.SAS (MAIA et al., 2000).

3.4 Testes de não preferência

Foram realizados dois testes para avaliar o efeito do silício na preferência de pulgões alados por plantas de trigo. No primeiro deles, foram utilizadas plantas no estágio vegetativo, nas fases 14 ou 15 (ZADOKS et al., 1974); no segundo, utilizou-se plantas com espigas totalmente desenvolvidas, em estágio reprodutivo e em fases 58 a 60 (ZADOKS et al., 1974).

Além disso, vale ressaltar que o cultivo das plantas foi realizado em solo preparado conforme descrição no item 3.2. Para a avaliação em plantas na fase vegetativa, foram semeadas quatro sementes em copos plásticos de 200 mL e, para as avaliações em plantas em estágio reprodutivo, semearam-se quatro sementes em tubetes de 275 cm³. Procedeu-se ao desbaste após a emergência, a fim de obter uma planta por recipiente – uma parte dessas plantas foi usada para a avaliação de silício nas folhas e na espiga (ver item 3.5).

Os testes de não preferência foram realizados com pulgões alados, em gaiolas de acrílico (58 x 28 x 28 cm) mantidas em sala climatizada, com temperatura de 23 ± 1°C, fotofase de 12 horas e umidade relativa de 50 a 55%. Em cada gaiola acrílica foram colocadas duas plantas, a testemunha e o tratamento com silício, e nelas liberados 30 pulgões alados oriundos da criação de manutenção; após 24, 48 e 72 horas foi feita a contagem dos insetos em cada planta.

Os testes de não preferência foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 2x3 (o primeiro fator refere-se à adubação silicatada ou não, e o segundo, aos três momentos de avaliação: 24, 48 e 72 horas). A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk, e a homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Levene, no software SPSS 16.0 a 1% ou 5% de probabilidade. Para o teste de não preferência em plantas em estágio vegetativo, foram utilizadas 11 repetições e, em estágio reprodutivo, 12 repetições. Realizou-se a ANAVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2000).

3.5 Análise de silício nas folhas e espigas de trigo

A quantificação do teor de silício foi feita em plantas que se encontravam no mesmo estágio de desenvolvimento daquelas utilizadas nos ensaios com pulgões. Foram analisadas folhas de plantas na fase vegetativa e espigas de plantas em estágio reprodutivo, nas fases de 14 a 15 e de 58 a 60 (ZADOKS et al., 1974), respectivamente. A produção das mudas foi realizada conforme descrição no item 3.4. As plantas foram secas em estufa a 60°C e moídas (folhas) ou picadas em pequenos pedaços (espigas), sendo o material enviado para o Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia, onde foi feita a análise utilizando a técnica de Korndörfer et al. (2004).

O delineamento utilizado na avaliação de silício foliar e na espiga foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos (adubação silicatada e testemunha) e 10 repetições. Cada repetição foi composta por três plantas. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene, no *software* SPSS 16.0 a 5% de probabilidade. Foi realizada a ANAVA, e as médias foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade, usando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS

4.1 Biologia de *S. avenae*

A mortalidade de imaturos de *S. avenae* foi semelhante para os tratamentos com (28 ± 4,9% imaturos mortos) e sem silício (25 ± 5,0% imaturos mortos), não sendo encontrada diferença significativa ($F = 0,184$; $p \geq 0,05$). Também não foram encontradas diferenças significativas para o período de desenvolvimento de ápteros e alados de *S. avenae* quando se desenvolveram em folhas destacadas de plantas que receberam (ou não) a adubação silicatada ($F = 2,459$; $p \geq 0,05$) (Tabela 1).

Os adultos ápteros de *S. avenae* apresentaram maior fecundidade diária que os alados nas plantas com e sem silício. Porém, a aplicação desse elemento não afetou esse parâmetro biológico tanto para ápteros, quanto para alados ($F = 6,622$; $p \leq 0,05$) (Tabela 1).

A maior fecundidade total foi observada para as fêmeas ápteras, cujas plantas não foram adubadas com silício. Os outros tratamentos apresentaram médias inferiores e sem diferença significativa ($F = 6,343$; $p \leq 0,05$). O silício reduziu a fecundidade de fêmeas ápteras, porém não influenciou na forma alada (Tabela 1).

Os adultos alados apresentaram maior período pré-reprodutivo, independente se houve ou não adubação silicatada, demorando mais tempo para iniciar sua reprodução do que os ápteros. Estes, tanto na testemunha como no tratamento com silício, iniciaram sua reprodução em menor período ($F = 14,592$; $p \leq 0,05$) (Tabela 1).

De maneira análoga à fecundidade total, o silício também reduziu o período reprodutivo dos adultos ápteros de *S. avenae*, mas não houve influência sobre os alados ($F = 3,316$; $p \leq 0,05$). Resultados semelhantes foram observados para o período pós-reprodutivo ($F = 3,290$; $p \leq 0,05$) e para a longevidade ($F = 3,758$; $p \leq 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1: Dados biológicos (média \pm erro padrão) de *S. avenae* em folha destacadas de plantas de trigo com e sem adubação silicatada (temperatura $23 \pm 1^\circ\text{C}$, UR 50-55% e 12h de fotofase).

Dado biológico	Tratamentos			
	AladoSi-	ÁpteroSi-	AladoSi+	ÁpteroSi+
Desenvolvimento (dias)	9,82 \pm 0,21 a	9,60 \pm 0,16 a	10,15 \pm 0,07 a	9,58 \pm 0,18 a
Fecundidade diária (ninfas/dia)	2,50 \pm 0,11 bc	2,90 \pm 0,08 a	2,26 \pm 0,17 c	2,79 \pm 0,09 ab
Fecundidade total (ninfas)	26,2 \pm 2,8 b	44,0 \pm 3,69 a	25,38 \pm 3,01 b	30,5 \pm 4,00 b
Período pré-reprodutivo (dias)	1,07 \pm 0,11 a	0,404 \pm 0,10 b	1,12 \pm 0,03 a	0,488 \pm 0,12 b
Período reprodutivo (dias)	11,3 \pm 1,06 b	16,1 \pm 1,23 a	11,4 \pm 1,51 b	11,4 \pm 1,62 b
Período pós-reprodutivo (dias)	2,16 \pm 1,02 b	4,36 \pm 0,73 a	2,06 \pm 0,52 b	1,74 \pm 0,44 b
Longevidade (dias)	14,5 \pm 2,02 b	20,9 \pm 1,73 a	14,6 \pm 1,73 b	13,7 \pm 1,86 b

Médias seguidas de letras distintas na linha se diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. AladoSi-: insetos alados alimentados em plantas não adubadas com silício; ÁpteroSi-: insetos ápteros alimentados em plantas não adubadas com silício; AladoSi+: insetos alados alimentados em plantas que receberam adubação silicatada; ÁpteroSi+: insetos ápteros alimentados em plantas que receberam adubação silicatada.

4.2 Tabela de vida de fertilidade de *S. avenae*

A maior taxa líquida de reprodução (R_0) foi verificada para os ápteros na testemunha, demonstrando que o silício influenciou na redução da fecundidade desses insetos. Todavia, o silício não influenciou, nessa característica, para os alados (Tabela 2).

Com relação ao tempo entre gerações (T), nota-se que ele foi reduzido ao ser aplicado o silício, tanto para os alados quanto para os ápteros. A aplicação desse elemento não influenciou a taxa líquida de aumento populacional (r_m). É provável que, mesmo com a redução do R_0 dos insetos ápteros, a diminuição do valor de T tenha sido determinante na ausência de diferença significativa no r_m dos insetos desenvolvidos em plantas com (e sem) a aplicação de silício.

A mesma analogia pode ser feita para o valor da razão finita de crescimento da população original (λ), já que ele é um valor dependente do r_m . Quando comparados ápteros e alados, é possível observar que os maiores valores de r_m e λ e os menores valores do tempo de duplicação da população (TD) foram para os ápteros, tanto na testemunha como na adubação silicatada (Tabela 2).

Tabela 2: Tabela de vida de fertilidade (média \pm erro padrão) de *S. avenae* em folhas destacadas de plantas de trigo com e sem adubação silicatada (temperatura $23 \pm 1^\circ\text{C}$, UR 50-55% e 12h de fotofase).

Parâmetro	Tratamentos			
	AladoSi-	ÁpteroSi-	Alado Si+	ÁpteroSi+
r_m	0,184 \pm 0,006 c	0,203 \pm 0,005 ab	0,196 \pm 0,006 bc	0,219 \pm 0,007 a
R_o (fêmea/fêmea)	19,7 \pm 2,24 b	33,0 \pm 2,39 a	18,6 \pm 1,97 b	22,0 \pm 2,42 b
T (dias)	16,2 \pm 0,44 a	17,1 \pm 0,29 a	14,9 \pm 0,28 b	14,1 \pm 0,36 b
Λ (fêmea/dia)	1,20 \pm 0,007 c	1,23 \pm 0,006 ab	1,22 \pm 0,007 bc	1,24 \pm 0,009 a
TD (semanas)	3,75 \pm 0,13 a	3,39 \pm 0,07 b	3,52 \pm 0,12 a	3,15 \pm 0,11 b

Médias seguidas de letras diferentes na linha se diferem entre si pelo teste “t” de Student a $p = 0,05$ de significância. R_o = taxa líquida de reprodução; r_m = taxa intrínseca de aumento; T = tempo médio entre gerações; TD = tempo de duplicação da população; λ = razão finita de aumento. AladoSi-: insetos alados alimentados em plantas não adubadas com silício; ÁpteroSi-: insetos ápteros alimentados em plantas não adubadas com silício; AladoSi+: insetos alados alimentados em plantas que receberam adubação silicatada; ÁpteroSi+: insetos ápteros alimentados em plantas que receberam adubação silicatada.

4.3 Testes de não preferência

Não houve interação entre os fatores “adubação silicatada” e “período de avaliação”, tanto para o teste de não preferência de *S. avenae* – em plantas de trigo no estágio vegetativo ($F = 0,175$; $p \geq 0,05$) –, quanto para o teste em plantas no estágio reprodutivo ($F = 0,569$; $p \geq 0,05$). Também não foram encontradas diferenças significativas entre os períodos de avaliação em ambos os testes ($F = 0,608$; $p \geq 0,05$, para plantas no estágio vegetativo e $F = 0,081$; $p \geq 0,05$, para as que estavam no estágio reprodutivo); entretanto, foram verificadas diferenças significativas entre o número de

pulgões alados na testemunha e na planta com adubação silicatada. A planta que recebeu o silício em sua adubação apresentou um número menor de insetos em ambos os estádios de desenvolvimento: vegetativo (DMS = 1,76, F = 23,662; $p \leq 0,05$) e reprodutivo (DMS = 1,03, F = 86,888; $p \leq 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3: Número de adultos alados (média \pm erro padrão) de *S. avenae* em plantas de trigo em estágio vegetativo e reprodutivo, adubadas ou não com silício, 24, 48 e 72 horas após a liberação dos insetos.

Tratamentos	Estádio vegetativo			
	24 horas	48 horas	72 horas	Média
Testemunha	7,5 \pm 1,11	9,1 \pm 1,50	8,9 \pm 1,33	8,5 \pm 0,75 a
Com silício	3,9 \pm 0,61	4,5 \pm 0,86	4,1 \pm 0,76	4,2 \pm 0,42 b

Tratamentos	Estádio reprodutivo			
	24 horas	48 horas	72 horas	Média
Testemunha	13,3 \pm 0,84	14,3 \pm 0,52	13,9 \pm 0,56	13,8 \pm 0,37 a
Com silício	9,3 \pm 0,65	8,8 \pm 0,49	9,0 \pm 0,66	9,0 \pm 0,34 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna, em estágio vegetativo ou reprodutivo, se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 Análise de silício nas folhas e espigas de trigo

As plantas de trigo que foram submetidas à adubação silicatada apresentaram teor de silício duas vezes maior nas folhas (DMS = 1,00; F = 25,858; $p \leq 0,05$) e nas espigas do que as plantas não adubadas com silício (DMS = 1,16; F = 15,639; $p \leq 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4: Teor de silício (média \pm erro padrão) em folhas e espigas de plantas de trigo adubadas ou não com silício.

Tratamento	Teor de silício (%)	
	Folha	Espiga
Testemunha	1,9 \pm 0,38 b	2,4 \pm 0,24 b
Com silício	4,3 \pm 0,29 a	4,6 \pm 0,49 a

Médias seguidas de letras distintas na coluna se diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

5 DISCUSSÃO

Embora o processo de resistência das plantas aos insetos, promovido pela adubação com silício, não esteja totalmente elucidado, a barreira física e a indução para produzir compostos de defesa pelas plantas são atribuídas a esse elemento. O silício, após absorvido, é depositado nas células epidérmicas como sílica amorfa, tornando os tecidos foliares mais rígidos e dificultando a alimentação dos insetos (RAVEN, 1983).

Diversos autores propõem que o silício é capaz de conferir resistência por não preferência e antibiose, provavelmente por formar essa barreira física e pela deposição do silício nas paredes do tecido vegetal (CARVALHO et al., 1999; MORAES; CARVALHO, 2002; BASAGLI et al., 2003; MORAES et al., 2004; KVEDARAS; KEEPINGS, 2007). Além disso, a presença de tal elemento pode promover a antibiose e a não preferência por induzir a produção e a ativação de compostos de defesa na planta, como as peroxidases, as polifenoloxidasas, as quitinases (CHÉRIF et al., 1994; GOMES et al., 2005), a lignina e os taninos (GOMES et al., 2008).

Embora Massey et al. (2006) não tenham encontrado efeito da aplicação do silício sobre a preferência alimentar e o crescimento populacional de *S. avenae*, os resultados do presente trabalho evidenciam que esse elemento é capaz de conferir resistência por não preferência e antibiose em plantas de trigo ao pulgão *S. avenae*.

O silício não apresentou efeito sobre as fases iniciais do desenvolvimento dos pulgões alados e ápteros de *S. avenae*, não alterando as taxas de mortalidade de imaturos e do período de desenvolvimento. Tais resultados corroboram o encontrado por Basagli et al. (2003), os quais obtiveram a mesma porcentagem de sobrevivência de ninfas de *S. graminum* em plantas de sorgo tratadas com seis doses diferentes de silício. Resultado semelhante foi observado por Costa e Moraes (2006), com média de 32% de mortalidade de *S. graminum* em trigo tratado (ou não) com ácido silícico e/ou acibenzolar-S-methyl. Goussain et al. (2002), ao trabalharem com o mastigador *S. frugiperda*, também observaram que não houve efeito do silício sobre o período de desenvolvimento larval e de pupas em plantas de milho adubadas com silicato de sódio.

No entanto, a fecundidade dos insetos é um dos parâmetros biológicos em que mais se observa o efeito do silício. Diversos autores, ao utilizarem pulgões, observaram uma redução da fecundidade dos ápteros quando estes se desenvolveram em plantas adubadas com silício (CARVALHO et al., 1999; GOUSSAIN et al., 2005; COSTA; MORAES, 2006; GOMES et al., 2008; CAMARGO et al., 2008; COSTA et al., 2009).

Costa e Moraes (2006) chegaram a obter uma redução de até 80% das ninfas, quando as plantas receberam ácido silícico via solo. Já Gomes et al. (2008) encontraram diferenças na fecundidade diária de *M. persicae* em batateira, com a maior redução da fecundidade para o tratamento que recebeu adubação via foliar e solo.

Ao reduzir a alimentação, podem ser verificados efeitos adversos na fecundidade dos pulgões (STARKS; BURTON, 1977). Além disso, a qualidade da planta hospedeira é determinante na fecundidade dos insetos, sendo que os componentes como carbono, nitrogênio e metabólitos de defesa (como os compostos fenólicos) afetam diretamente a fecundidade dos herbívoros em escala individual e populacional (AWMACK; LEATHER, 2002). Goussain et al. (2005) ressaltam que indivíduos de *S. graminum* alimentados em plantas de trigo adubadas com silício apresentaram menor taxa de ingestão de seiva; isso pode conferir menor energia aos insetos que se alimentam de plantas com silício e reduzir a fecundidade e outras características, como a duração dos períodos reprodutivo e pós-reprodutivo e a longevidade.

Observa-se que as duas formas de *S. avenae* foram afetadas de maneira distinta pela aplicação de silício, em que os ápteros sofreram redução marcante na fecundidade; no entanto, tal aspecto não foi evidenciado para os alados. De acordo com Dixon (1987), a maioria dos afídeos alados possui fecundidade inferior à capacidade reprodutiva dos pulgões ápteros, o que demonstra diferença na alocação de energia para a reprodução entre as formas alada e áptera dos pulgões. Esse é o primeiro trabalho que avalia o efeito da adubação silicatada nos aspectos biológicos de pulgões alados e, embora a fecundidade tenha sido menor para os alados, eles não sofreram redução na fecundidade pela aplicação de silício. A mesma situação foi observada para os períodos reprodutivo e pós-reprodutivo e para a longevidade, nos quais houve redução causada pelo silício somente na forma áptera de *S. avenae*. Resultados obtidos para *S. graminum*, com ápteros em plantas de trigo adubadas ou não com silício por Costa et al. (2009), Costa e Moraes et al. (2006) e Goussain et al. (2005) mostram, respectivamente, a redução dos períodos reprodutivo e pós-reprodutivo e da longevidade pela aplicação de silício.

Quanto aos parâmetros da tabela de vida de fertilidade, a influência do silício sobre os insetos ápteros foi observada quando o R_0 foi avaliado. Tal parâmetro reflete a mortalidade de imaturos e a fecundidade das fêmeas, o que confirma a ação desse elemento na redução do potencial reprodutivo de ápteros *S. avenae* e a ausência de efeito sobre os alados. Contudo, a ausência de efeito do silício – quando avaliada a taxa

líquida de aumento populacional (r_m) em ápteros e alados – contraria os resultados de outros estudos para pulgões ápteros, nos quais o r_m apresentou redução quando houve aplicação desse elemento. Gomes et al. (2008) observaram que, na testemunha, o r_m de *M. persicae* foi 50% maior que nas plantas adubadas com silício via foliar e 25% maior que nas plantas adubadas com silício via solo e via foliar+solo. Costa e Moraes (2006) e Costa et al. (2009) também encontraram redução significativa do r_m de *S. graminum* em plantas adubadas com silício.

Com a adubação silicatada, observou-se o mecanismo de resistência por não preferência ao pulgão *S. avenae* em plantas de trigo, tanto na fase vegetativa, quanto na reprodutiva. Resultado semelhante foi obtido por Carvalho et al. (1999), que notaram, em genótipos de sorgo em fase vegetativa, o dobro de insetos ápteros da espécie *S. graminum* na testemunha após 63 horas da liberação dos insetos. Costa e Moraes (2002), também trabalhando com ápteros de *S. graminum* em sorgo em fase vegetativa, perceberam que a aplicação de silicato de sódio reduziu a preferência dos insetos. Com ápteros de *S. graminum*, mas em plantas de trigo na fase vegetativa, vários autores também verificaram o efeito negativo do silício na preferência pela planta hospedeira (BASAGLI et al., 2003; MORAES et al., 2004; GOMES et al., 2005; COSTA et al., 2007). Diferentemente disso, os resultados de Alcantra et al. (2010) indicaram que não houve influência do silício na preferência do pulgão *Aphis gossypii* (Glover) alado por cultivares de algodão de fibras coloridas.

A metodologia mais utilizada para o teste de não preferência é a proposta por Cruz et al. (1998), a qual indica 72 horas após a infestação como o período ideal para avaliar a não preferência de *S. graminum* em plantas de sorgo. Vários outros trabalhos, seguindo essa metodologia, indicam períodos maiores que 48 horas para a avaliação da não preferência (CARVALHO et al., 1999; BASAGLI et al., 2003; MORAES et al., 2005; GOMES et al., 2005); no entanto, todos eles utilizaram a forma áptera. No presente trabalho, com a utilização de insetos alados, os resultados foram conclusivos 24 horas após a liberação dos insetos. Sendo assim, reforça-se que os insetos alados são os mais adequados para esse tipo de avaliação (BLACKMAN, 1990).

A forma alada dos pulgões é a principal responsável pela colonização das plantas, pois podem se dispersar por maiores distâncias devido ao voo (BLACKMAN, 1990). Uma vez que os pulgões se estabelecem nas plantas, a forma áptera é a principal responsável pelo crescimento das colônias devido ao seu maior potencial reprodutivo (BOQUEL et al., 2011). A presente pesquisa demonstra que a adubação com silício

pode reduzir a colonização em plantas de trigo em fase vegetativa e reprodutiva, uma vez que ela reduz a preferência dos alados de *S. avenae*. Além disso, por reduzir a fecundidade da forma áptera, pode ser um importante fator de redução populacional desse inseto. Dessa forma, o silício promove os mecanismos de resistência por não preferência e antibiose em plantas de trigo a *S. avenae*.

6 CONCLUSÕES

Diante dos aspectos supramencionados, pode-se destacar que a aplicação de silício afeta, de maneira distinta, as formas áptera e alada de *S. avenae*. A biologia dos adultos ápteros foi afetada negativamente em sua fecundidade total, nos períodos reprodutivo e pós-reprodutivo e na longevidade, enquanto a biologia da forma alada não foi afetada pela aplicação de silício.

Por fim, verificou-se que a adubação silicatada via solo promoveu o mecanismo de resistência por não preferência em plantas de trigo à forma alada de *S. avenae*.

REFERÊNCIAS

- AHEER, G.M.; AMJAD, A.; MANZOOR A. Abiotic factors effect on population fluctuation of alate aphids in wheat. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.46, p. 367-371, 2008.
- ALBRECHT, J. C.; SILVA, M. S. e; SCHEEREN, P. L.; ANDRADE, J. M. V. de; TRINDADE, M. da G.; SOBRINHO, J. S.; SOUSA, C. N. A. de; BRAZ, A. J. B. P.; RIBEIRO JÚNIOR, V. Q.; SOUZA, M. A. de; FRONZA, V.; YAMANAKA, C. H. **BRS 254 – Trigo melhorador**: cultivar com alta qualidade para a região do cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 18 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 288).
- ALCANTRA, E.; MORAES, J. C.; ANTONIO, A. Efeito de indutores da resistência e cultivares de algodão no comportamento de *Aphis gossypii*. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, p. 619-624, 2010.
- ANDREWARTHA, H. G.; BIRCH, L. C. The innate capacity for increase in numbers. **The distribution and abundance of animals**. Chicago: University of Chicago Press, 1954. p. 31-54.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 14, p. 371-375, 1939.
- AWMACK, C. X.; LEATHER, S. R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 47, p. 817-844, 2002.
- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C., GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the Green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, p. 659-663, 2003.
- BERTELS, A. **Revisão de afídeos no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul, 1973. 64 p. (Boletim técnico, 84).
- BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. F. **Aphids on the world's crops**: an identification and information guide. Chichester: John Wiley & Sons, 1984. 466 p.
- BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. P. **Aphids on the world's crops**: an identification and information guide. 2. ed. Chichester: J. Wiley & Sons, 2000. 466 p.
- BLACKMAN, R. L. Specificity in aphid/plant genetic interactions, with particular attention to the role of the alate colonizer. In: CAMPBELL, R.K.; EIKIENBARY, R.D. (eds.). **Aphid-Plant Genotype Interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1990. p. 251-274.
- CAETANO, M. Apostas para 2012 – Trigo. **Revista Globo Rural**, São Paulo, n. 315, p. 38, jan 2012.

CAETANO, V. da R. **Estudos sobre os afídeos vectores do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada, em especial de *Acyrtosiphon dirhodum*, em trigo, no Sul do Brasil**. 1973. 104 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1973.

CAIEIRÃO, E. **Cultivo de trigo**. Embrapa Trigo, 2009. (Sistemas de Produção) Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo/introducao.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera:Aphididae) em plantas de *Pinus taeda* adubadas com silício. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 927-932, 2008.

CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 28, p. 505-510, 1999.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; SCHONS, J. **Vírus do nanismo amarelo da cevada – VNAC**. São Paulo: Bayer, 2000. 22 p.

CELIS, V. R. de; GASSEN, D.; VALENTE, V. L.; OLIVEIRA, A. K. de. Longevity, fecundity and embryogenesis in Brazilian aphids. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n. 2, p.137-145, fev.1997. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/92896>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

CHAPIN, J. W.; THOMAS, J. S.; GRAY, S. M.; SMITH, D. M.; HALBERT, S. E. Seasonal abundance of aphids (Homoptera: Aphididae) in wheat and their role as barley yellow dwarf virus vectors in the South Carolina coastal plain. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 94, n. 2, p. 410-421, 2001.

CHERIF, M.; ASSELIN, A.; BELANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 84, p. 236-242, 1994.

CIVIDANES, F. J.; SANTOS-CIVIDANES, T. M. Ocorrência de formas aladas de pulgões e sua relação com fatores meteorológicos e plantas hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 7-15, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: décimo segundo levantamento, setembro 2012**. Brasília: Conab, 2012. 30 p.

CORREA, R. S. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; CARVALHO, G. A. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, p. 429-433, 2005.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 35, p. 834-839, 2006.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; COSTA, R. R. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 455-460, 2009.

DALMAGO, G. A.; PASINATO, A.; CUNHA, G. R. da; SANTI, A.; PIRES, J. L. F. **Cultivo de trigo – zoneamento agrícola**. Embrapa Trigo, 2009. (Sistemas de Produção). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo/zoneamento.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2012.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 75, n. 7, p. 729-732, 1991.

DEREN, C. W. Plant genotype, silicon concentration and silicon-related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.) **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001, p. 149-158.

DIXON, A. F. G. The way of life of aphids: host specificity, speciation and distribution. In: MINKS, A. K.; HARREWIJN, P. (Ed.) **Aphids: their biology, natural enemies and control**, v. A. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 197-207.

DIXON, A. F. G.; HORTH, S.; KINDLEMANN, P. Migration in insects – cost and strategies. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 62, p. 182-190, 1993.

EICHLER, M. R.; REIS, E. M.; IGNACZAK, J. C. Determinação das perdas ocasionadas por pulgões do trigo em 1976, em diferentes estádios da cultura. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Sanidade...** Passo Fundo, 1977. v. 4, p. 278-292. Londrina, 1977.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, p. 11-17, 1994.

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

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts, p. 1-15, 2001. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001, 403 p.

FAGUNDES, A. C. Principais espécies de pulgões de trigo no Rio Grande do Sul. **Divulgação Agronômica**, São Paulo, v. 32, p. 11-14, 1972.

- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000, p. 255-258.
- FRAZER, B. D. Predators. In: MINKS, A.K.; HARREWIJN, P. (Ed.). **Aphids: their biology natural enemies and control**. v. 2B. Amsterdam: Elsevier, 1988, p. 217-230.
- GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.: il.
- GASSEN, D. N. Biologia de *Methopolophium dirhodum*, *Rhopalosiphum padi*, *Sitobion avenae* e *Schizaphis graminum* (Homoptera: Aphididae) em trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 14., 1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 1993, p. 53.
- GASSEN, D. N. **Insetos associados à cultura do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1984. 39 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 3).
- GASSEN, D. N. **Parasitas, patógenos e predadores de insetos associados à cultura do trigo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1986. 86 p. (Embrapa-CNPT. Circular técnica, 1).
- GASSEN, D. N. **Controle biológico de pulgões do trigo**. Passo Fundo: Embrapa CNPT, 1988. 13 p. (Embrapa CNPT, Documentos, 3).
- GASSEN, D. N.; TAMBASCO, F. J. Manejo integrado de pragas em trigo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 97, p. 47-49, 1983.
- 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.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; ANTUNES, C. S. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, p. 185-190, 2008.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, p. 305-310, 2002.
- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behavior of the greenbug *Shizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera:Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, p. 807-813, 2005
- GURR, G. M.; KVEDARAS, O. L. Synergizing biological control: scope for sterile insect technique, induced plant defences and cultural techniques to enhance natural enemy impact. **Biological control**, Orlando, v. 52, p. 198-207, 2010.

- HODGSON, E. W.; VENETTE, R. C.; ABRAHAMSON, M.; RAGSDALE, D. W. Alate production of soybean aphid (Homoptera: Aphididae) in Minnesota. **Environmental Entomology**, College Park, v.34, p.1456-1463, 2005.
- HODSON, M. J.; SANGSTER, A. G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) with particular reference to silicon. **Annual of Botany**, London, v. 62, n. 5, p. 463-471, 1988.
- HODSON, M. F., WHITE, P. J., MEAD, A., BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of Botany**, London, v. 96, p. 1027-1046, 2005.
- JARVIS, S. C. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. **Plant and soil**, The Hague, v. 97, p. 429-437, 1987.
- JEDLINSKI, H. Rice root aphid, *Rhopalosiphum rufiabdominalis*, a vector of barley yellow dwarf virus in Illinois, and the disease complex. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 65, p. 975-978, 1981.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animal. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.
- KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced plant responses to herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v., 20, p. 331-348, 1989.
- KEEPING, M. G., KVEDARAS, O. L. Silicon as a plant defence against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 77, p. 631-633, 2008.
- KIECKHEFER, R. W.; KANTACK, B. H. Losses in yield in spring wheat in South Dakota caused by cereal aphids. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 73, p. 582-585, 1980.
- KINDLER, S. D.; ELLIOTT, N. C.; GILES, K. L.; ROYER, T. A.; FUENTES-GRANADOS, R.; TAO, F. Effect of greenbugs (Homoptera: Aphididae) on yield loss of winter wheat. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 95, n. 1, p. 89-95, 2002.
- KOBER, E. A. M. **Combate aos pulgões que atacam o trigo**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul – Supervisão da Produção Vegetal – Unidade de Defesa e Fomento – Equipe de Defesa Fitossanitária, 1972. 9 p.
- KOGAN, M.; ORTMAN, E. F. Antixenosis – A new term proposed to define Painter’s “Non-preference” modality of resistance. **Bulletin of the Entomological Society of America**, Washington, v. 24, n.2, p. 175-176, 1978.
- KOGAN, M.; PAXTON, J. Natural inducers of plant resistance to insect. In: HEDIN, P. A. (Ed.). **Plant resistance to insects**. Washington, D.C.: American Chemical Society, 1983, p. 152-171.

KÖRNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34 p.

KUO, M.H. Effects of temperature, photoperiod and crowding treatment on alate formation in the turnip aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt.). **Plant Protection Bulletin**, v. 41, p. 255-264, 1999.

KVEDARAS, O. L.; BYRNET, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, p. 301-306, 2009.

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 125, p. 103-110, 2007

LAGOS, M. B. **História do melhoramento de trigo no Brasil**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Agronômicas; Departamento de Pesquisa; Secretaria da Agricultura do RS, 1983. (Boletim técnico, 10).

LAING, M. D.; GATARAYIHA, M. C.; ADANDONON, A. Silicon use for pest control in agriculture: A review. **Proceeding of the South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 80, p. 278-286, 2006.

LAU, D.; SCHONS, J.; LAU, E. Y.; PEREIRA, P. R. V. DA S.; SALVADORI, J. R.; PARIZOTO, G.; MAR, T. B. **Ocorrência do Barley/Cereal yellow dwarf virus e seus vetores em cereais de inverno no Rio Grande do Sul em 2007**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 8 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 236). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co236.htm>. Acesso em: 20 jan. 2012.

LIMA FILHO, O. F. de. **O silício e a resistência das plantas ao ataque de fungos patogênicos**, 2005. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2005/artigo.2005-09-26.3380213476/>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, p. 11-18, 2004.

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

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

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

MAIA, A. H. N.; LUIZ, A. J. B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, p. 511-518, 2000.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defense against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 75, p. 595-603, 2006.

MAYLAND, H. F.; WRIGHT, J. L.; SOJKA, R. E. Silicon accumulation and water uptake by wheat. **Plant and soil**, The Hague, v. 137, p. 191-199, 1991.

MEYER, J. S.; IGERSELL, C. G.; MACDONALD, L. L.; BOYCE, M. S. Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs. Bootstrap techniques. **Ecology**, Tempe, v. 67, p. 1156-1166, 1986.

MIRMOHAMMADI, S.; ALLAHYARI, H.; NEMATOLLAHI, M. R.; SABOORI, A. Effect of host plant on biology and life table parameters of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 102, p. 450-455, 2009.

MORAES, J. C.; CARVALHO, S. P. Indução de resistência em plantas de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae) com a aplicação de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 1185-1189, 2002.

MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; SAMPAIO, M. V. Silicon influence on the tritrophic interaction: Wheat plants, the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, p. 619-624, 2004.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; TRINDADE, M. G.; CÁNOVAS, A. D. **A cultura do trigo irrigado no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Trigo, 2006. 16 p. (Circular técnica, 78).

MÜLLER, C.B.; WILLIAMS, I.S.; HARDIE, J. The role of nutrition, crowding and interspecific interactions in the development of winged aphids, **Ecological Entomology**, London, v. 26, p. 330-340, 2001.

NUTTONSON, M. Y. **Wheat-climatic relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat**. Washington: American Institute of Crop Ecology, 1955.

OLIVEIRA, R. S. **Atratividade do parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) por plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas à adubação com silício e herbivoria por *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**. New York: MacMillan, 1951. 520 p.

PEIXOTO A. M. **Enciclopédia agrícola brasileira S-Z**. v. 6. São Paulo: USP/Fapesp, 2006. 632 p. Disponível em:
<http://books.google.com.br/books?id=wqU3SihZqfcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 24 jan. 2012.

PEREIRA, C. D.; LOMÔNACO, C. Produção de formas aladas em colônias de *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) por indução do parasitoide *Diaeretiella rapae* (McIntosh) (Hymenoptera: Aphidiidae) em alguns aspectos comportamentais da interação destas espécies. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, p. 97-102, 2003.

PEREIRA, P. R. V. da S.; LAU, D.; BIANCHIN, V.; SALVADORI, J. R.; REBONATTO, A.; LAMPERT, S.; SAVARIS, M. **Identificação de adultos ápteros e alados das espécies de afídeos (Hemiptera: Aphididae) associadas a cereais de inverno no Brasil**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. 21 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 285). Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co285.htm>. Acesso em: 18 jan. 2012.

POWELL, G.; TOSH, C. R.; HARDIE, J. Host plant selection by aphids: Behavioral, Evolutionary and applied perspectives. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 51, p. 309-330, 2006.

RAFI, M. M.; EPSTEIN, E. Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant and soil**, The Hague, v. 211, p. 223-230, 1999.

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

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 5., 2011, Dourados. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2012**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 204 p. (Sistemas de produção; Embrapa Agropecuária Oeste. Sistemas de produção, 9).

REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 13., 2004, Goiânia. **Indicações técnicas para a cultura do trigo na Região do Brasil Central: safras 2005 e 2006**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Planaltina: Embrapa Cerrados; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 82 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 173).

ROZA-GOMES, M. F.; SALVADORI, J. R.; SCHONS, J. Danos de *Rhopalosiphum padi* L. (Hemiptera: Aphididae) no trigo em função da duração e da densidade de infestação. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 5, p. 577-581. 2008.

RUBIN-DE-CELIS, V. E.; GASSEN, D. N.; CALLEGARI-JACQUES, S. M.; VALENTE, V. L. S.; OLIVEIRA, A. K. Morphometric observations on three populations of *Schizaphis graminum* (Rondani), a main wheat aphid pest in Brazil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 417-428, 1997a.

RUBIN-DE-CELIS, V. E.; GASSEN, D. N.; SANTOS-COLARES, M. C.; OLIVEIRA, A. K.; VALENTE, V. L. S. Chromosome studies in southern Brazilian wheat pest aphids *Sitobion avenae*, *Schizaphis graminum*, and *Metopolophium dirhodum* (Homoptera: Aphididae). **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 20, n. 3, p. 415-419, 1997b.

RUSSEL, E. W. **Soil conditions and plant growth**. Nova York: Longmans Green, 1961.

SALVADORI, J. R. Controle biológico de pulgões de trigo: o sucesso que perdura. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 2 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 27). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co27.htm>. Acesso em: 18 jan. 2012.

SALVADORI, J. R.; LAU, D.; PEREIRA, P. R. V. da S. **Cultivo de trigo: Pragas e métodos de controle (Sistemas de Produção)**. Embrapa Trigo, 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo/pragas.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2012.

SALVADORI, J. R.; SALLES, L. A. B. Controle biológico dos pulgões do trigo. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; FERREIRA, B. S. C.; BENTO, J. M. S. (Ed.). **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole. 2002. p. 427-447.

SALVADORI, J. R.; SILVA, J. J. C. da; GOMEZ, S. A. Pragas do trigo no estado de Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa; UEPAE Dourados, 1983. 46 p. (EMBRAPA. UEPAE Dourados. Circular técnica, 9).

SALVADORI, J. R.; TONET, G. E. L. **Manejo integrado dos pulgões do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 52 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 34).

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, p. 1853-1903, 1999.

SILVA, A. M. **Biologia e comportamento de *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) em quatro cultivares comerciais de trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SILVA, M. T. B.; COSTA, E. C.; BALARDIN, R. S. Reação de cultivares e eficiência do controle químico de pulgões vetores do *Barley yellow dwarf virus* em trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1333-1340, 2004.

STADLER, B. DIXON, A. F. G. Ecology and evolution of aphid-ant interactions. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, v. 36, p. 345-372, 2005.

STARKS, K. J.; BURTON, R. L. Greenbugs: a comparison of mobility on resistant and susceptible varieties of four small grains. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 6, p. 331-332, 1977.

STOETZEL, M. B.; MILLER, G. L. Aerial feeding aphids of corn in the United States with reference of the root-feeding *Aphis maidiradicis* (Homoptera: Aphididae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 84, n. 1, p. 83-98, 2001.

TAKAHASHI, E., HINO, K. Silicon uptake by plant with special reference to the forms of dissolved silicon. **Japanese Journal of Soil Science and Manure**, Tokyo, v. 49, p. 357-360, 1978.

TAKAHASHI, E., MA, J. F., MIYAKE, Y. The possibility of silicion as an essential element for higher plants. **Comments on Agriculture and Food Chemistry**, Lausanne, v. 2, p. 99-122, 1990.

TATCHELL, G. M.; PARKERS, S. J. Host plant selection by migrant *Rhopalosiphum padi* in autumn and the occurrence of an intermediate morph. **Entomologia Experimentalis Applicata**, Dordrecht, v. 54, p. 237-244, 1990.

VENDRAMIM, J. D.; CASTIGLIONI, E. Aleloquímicos, resistência de plantas e plantas inseticidas. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (Org.). **Bases e técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais – Departamento de Defesa Fitosanitária, 2000.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals, **Weed Research**, Oxford, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZUÑIGA, E. Biological control of cereal aphids in the southern cone of South America. In: BARLEY YELLOW DWARF VIRUS WORKSHOP, 1990, Udine. **Proceedings...** Udine: [s.n.], 1990, p. 500.

ZUÑIGA, E. **Controle biológico dos afídeos do trigo (Homoptera: Aphididae) por meio de parasitoides no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil**. 1982. 319 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.