

VINICIUS DE VICENTE CHAVES

TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA “a” EM GENÓTIPOS
DE CANA-DE-AÇÚCAR INFESTADOS POR CIGARRINHA-DAS-RAÍZES
Mahanarva fimbriolata

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Viçosa

T

C512t
2015 Chaves, Vinicius de Vicente, 1989-
Trocas gasosas e fluorescência da clorofila "a" em genótipos de
cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva*
fimbriolata / Vinicius de Vicente Chaves. - Viçosa, MG, 2015.
v, 33f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Márcio Henrique Pereira Barbosa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.29-33.

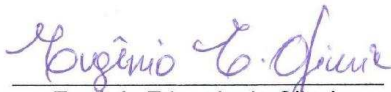
1. Cana-de-açúcar. 2. Trocas gasosas. 3. Fluorescência. 4. Relação
inseto-planta. 5. CDD 22. ed. 633.61

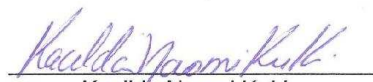
VINICIUS DE VICENTE CHAVES

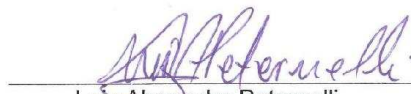
TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA “a” EM GENÓTIPOS
DE CANA-DE-AÇÚCAR INFESTADOS POR CIGARRINHA-DAS-RAÍZES
Mahanarva fimbriolata

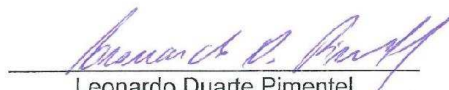
Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de julho de 2015


Eugênio Eduardo de Oliveira
(Coorientador)


Kacilda Naomi Kuki


Luiz Alexandre Peternelli


Leonardo Duarte Pimentel
(Presidente)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela benção da vida e por me orientar pelos caminhos que trilhei.

À minha família, meus pais José Carlos Chaves e Eleni de Vicente Chaves, pelo apoio, dedicação e companheirismo em minha vida. Meus irmãos Leonardo de Vicente Chaves e Bruno de Vicente Chaves, pela amizade e por estarem sempre ao meu lado apoiando minhas decisões. Aos meus avós Antônio de Vicente, Vicente Rodrigues Chaves e Nadil Pirani Chaves (*in memoriam*) e Carmelita Gonçalves de Vicente.

À Universidade Federal de Viçosa e ao programa de pós-graduação em Fitotecnia pela oportunidade de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Dr. Márcio Henrique Pereira Barbosa, pela orientação, ensinamentos e pela confiabilidade a mim designada.

Aos professores Dr. Eugênio Eduardo de Oliveira, e Dr. Luiz Alexandre Peternelli pelo apoio e auxílio durante o desenvolvimento e análises estatísticas do trabalho.

À Dra. Kacilda Naomi Kuki, por me dar suporte e compartilhar de seus conhecimentos de fisiologia vegetal sendo de grande valia nesse trabalho.

Aos colegas Guilherme V. Pimentel, Bruno Oliveira Soares, Natália L. Gouveia, Fernanda V. M. Coutinho, Silvania Lourenço, os quais auxiliaram nas diversas etapas do trabalho.

A todos os meus professores pelos conhecimentos compartilhados, e por serem peças fundamentais da minha formação.

A toda equipe do CECA pela contribuição na realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO-----	iv
ABSTRACT-----	v
1 - INTRODUÇÃO-----	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA-----	2
2.1 - Cigarrinha-das-raízes <i>Mahanarva fimbriolata</i> -----	2
2.2 - Interação inseto-planta-----	3
2.3 - Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a”-----	4
3 - MATERIAL E MÉTODOS-----	5
3.1- Material vegetal e insetos-----	5
3.2- Avaliações de trocas gasosas -----	6
3.3- Avaliações de fluorescência da clorofila “a”-----	6
4- DELINEAMENTO EXPERIMENTAL-----	7
5-RESULTADOS -----	7
5.1- Trocas gasosas (A, g _s , C _i , E) -----	7
5.2- Fluorescência da clorofila “a” e rendimento quântico do FSII -----	14
6- DISCUSSÃO -----	19
6.1- Trocas gasosas -----	19
6.2- Fluorescência da clorofila “a” e rendimento quântico do FSII -----	25
7- CONCLUSÕES -----	28
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	29

RESUMO

CHAVES, Vinicius de Vicente, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a” em genótipos de cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata***. Orientador: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Coorientador: Eugênio Eduardo de Oliveira.

O objetivo do presente estudo foi determinar se genótipos de cana-de-açúcar apresentam alterações nos parâmetros de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila “a” quando infestados por ninfas de cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata*. Utilizou-se dois genótipos de cana-de-açúcar reconhecidamente contrastantes quanto a suscetibilidade à cigarrinha-das-raízes, sendo o SP81-3250 sensível e o H.Kawandang resistente. O experimento foi conduzido no DIC com 4 repetições, onde cada repetição foi composta pela média de 3 medições em cada folha. Utilizou-se o esquema fatorial 2 x 2 x 5 sendo 2 genótipos (H.Kawandang e SP81-3250), 2 níveis de infestação de cigarrinha (0 e 6 ninfas/planta) e cinco datas de avaliação (2, 3, 7, 14 e 21 dias após a infestação - DAI). Avaliou-se os parâmetros de trocas gasosas: taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), concentração de carbono interno (C_i) e transpiração (E). A fluorescência da clorofila “a” foi avaliada a partir dos dados de transferência de elétrons (ETR) e máximo rendimento quântico do FSII (F_v/F_m). Também avaliou-se os rendimentos quânticos do FSII, $[Y(II)]$, $[Y(NPQ)]$ e $[Y(NO)]$. Para o genótipo SP81-3250, houve reduções significativas em todos os parâmetros de trocas gasosa e nos parâmetros de fluorescência. O rendimento do FSII $[Y(II)]$ foi reduzido e o $Y(NPQ)$ foi incrementado, sugerindo que o genótipo suscetível foi afetado negativamente pela cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo e que a dissipação de energia absorvida e não utilizada pelas clorofilas é principalmente realizada pelo quenching não-fotoquímico (NPQ). O genótipo resistente apresentou um incremento na taxa fotossintética ao longo do tempo e manteve constante, sem aumento de emissão da fluorescência ou do rendimento do FSII confirmando seu caráter de resistência. Esse resultado indica que o genótipo resistente não é significativamente afetado pela cigarrinha-das-raízes quando infestado pelas ninfas ao longo da exposição ao inseto. As avaliações de trocas gasosas e fluorescência são ferramentas eficazes na detecção de suscetibilidade de genótipos de cana-de-açúcar quando infestadas por ninfas de cigarrinha-das-raízes.

ABSTRACT

CHAVES, Vinicius de Vicente, M.Sc., Federal University of Viçosa, July, 2015. **Gas Exchange and chlorophyll fluorescence “a” in sugarcane genotypes infested by spittlebug *Mahanarva fimbriolata***. Adviser: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Co-adviser: Eugênio Eduardo de Oliveira.

The aim of this study was to determine whether sugarcane genotypes present changes in the parameters of gas exchange and chlorophyll fluorescence "a" when infested with nymphs of the spittlebug *Mahanarva fimbriolata*. We used two genotypes of sugarcane recognized when contrasting susceptibility to spittlebugs, being the sensitive and resistant SP81-3250 H.Kawandang. The experiment was conducted in DIC with four repetitions, where each repetition was made up of the average of 3 measurements on each sheet. We used the factorial 2 x 2 x 5 and 2 genotypes (H.Kawandang and SP81-3250), 2 spittlebug infestation levels (0 and 6 nymphs / plant) and five dates of evaluation (2, 3, 7, 14 and 21 days after infestation - DAI). We evaluated the parameters of gas exchange: net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (gs), internal carbon concentration (Ci) and transpiration (E). The fluorescence of chlorophyll "a" was evaluated from the electron transfer data (ETR) and maximum quantum yield of PSII (FV / FM). Also we evaluated the quantum of FSII income [Y (II)], [Y (NPQ)] and [Y (NO)]. For SP81-3250 genotype, there were significant reductions in all parameters of fluorescence and gas exchange parameters. The yield of PSII [Y (II)] was reduced and Y (NPQ) was increased, suggesting that the susceptible genotype was adversely affected by the spittlebug over time and that the dissipation of absorbed energy not used by Chlorophyll is mainly held by non-photochemical quenching (NPQ). The resistant genotype showed an increase in photosynthetic rate over time and remained constant, with no increase in emission of fluorescence or FSII income confirming its resistance character. This result indicates that the resistant genotype is not significantly affected by spittlebug when the nymphs along the exposure to insects. Evaluations of gas exchange and fluorescence are effective tools in detecting susceptibility of sugarcane genotypes when infested with nymphs of spittlebug.

1-Introdução

O Brasil ocupa posição de destaque no mercado sucroalcooleiro internacional, sendo o principal país produtor e exportador de cana-de-açúcar e derivados. Apresentando os menores custos de produção no mercado mundial, o Brasil é um dos líderes no desenvolvimento biotecnológico de novas variedades de cana-de-açúcar. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a previsão de cana moída na safra 2014/15 é de 642,1 milhões de toneladas (CONAB 2014).

A cana-de-açúcar é uma monocotiledônea alógama e semi-perene, pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*. Como exemplo típico de planta C4, a cana-de-açúcar desenvolveu mecanismos que a possibilita maior eficiência na assimilação do carbono (Sage et al. 2004). As cultivares modernas são híbridos interespecíficos derivadas essencialmente de cruzamentos entre *Saccharum officinarum* L., uma espécie que possui alto teor de açúcar, e *Saccharum spontaneum* L., um genitor selvagem e vigoroso resistente a várias doenças (Cheavegatti-Gianotto et al., 2011; Marconi et al., 2011). O genótipo de cana-de-açúcar SP81-3250 permite maior longevidade dos adultos, maior fecundidade dos ovos e é listada como a variedade com maior infestação natural de cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) não sendo a variedade indicada para áreas com incidência dessa praga. O genótipo H.Kawandang pertence ao gênero *Erianthus*, o qual apresenta diversas características agrônômicas importantes, como a resistência a pragas e doenças, sendo um importante material para a utilização em programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar (Cai et al. 2005).

Na agricultura mundial, as estimativas das perdas produtivas provocadas por pragas e doenças correspondem a 37% da produção, dos quais 13% são causadas por insetos praga (Silva-Filho & Falco, 2000). Nesse contexto, a utilização de variedades resistentes ou tolerantes à insetos tem sido uma alternativa eficaz no controle de pragas. O desenvolvimento dessas variedades pode ser melhorado com o conhecimento dos mecanismos de resistência das plantas, assim como as respostas fisiológicas dos genótipos de cana-de-açúcar ao ataque das diferentes pragas (Broekgaarden et al. 2011).

As mudanças de algumas práticas culturais na lavoura da cana-de-açúcar, entre elas a eliminação da queima do canavial, têm provocado alterações nas populações de insetos. A cigarrinha-das-raízes ao longo das últimas décadas vem se tornando cada vez

mais importante devido aos prejuízos provocados. As perdas causadas por essa praga, em infestações severas, podem ser significativas em função da época de colheita e do cultivar empregado (Dinardo-Miranda et al., 2008).

2-Revisão de Literatura

2.1-Cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata*

As primeiras referências sobre cigarrinha-das-raízes provocando danos em cana-de-açúcar no Brasil são de 1918-1920, onde foram encontradas no município de Itajubá no estado de Minas Gerais. No Nordeste, até o ano de 1960, elas eram praticamente desconhecidas, ocorrendo apenas no estado de Sergipe, onde sempre foi uma importante praga (Mendonça, 2005). Os adultos da cigarrinha-das-raízes apresentam longevidade de 10 a 12 dias e medem em média 12,0 mm de comprimento por 5,0 mm de largura, sendo as fêmeas maiores que os machos. Apresentam coloração que vai do vermelho até o amarelo-palha, as asas anteriores têm uma variação do opaco ao transparente e ocorre a presença de manchas longitudinais até sua completa ausência (Mendonça, 1996). Os adultos são de hábitos crepusculares, noturnos, ficando escondidos nas folhas durante o dia. Para se alimentar, sugam a seiva das folhas inserindo seu aparelho bucal através da abertura estomática e atingindo o metaxilema dos feixes vasculares. As ninfas necessitam de uma alta demanda de seiva composta por sais minerais e água nessa fase do inseto, utilizando-se do seu aparelho bucal para inserir o estilete através da epiderme, atingem o córtex até o xilema das raízes da cana-de-açúcar (Garcia et al. 2007). As fêmeas põem seus ovos na parte superficial do solo, na base da touceira ou nos resíduos vegetais. O ciclo completo dessa praga é de aproximadamente 60 dias.

A cigarrinha-das-raízes ocasiona reduções na produtividade agrícola e de açúcares além de prejuízos nos processos industriais. Os danos causados, principalmente pela forma jovem da praga, são responsáveis por perdas superiores a 40% na produtividade de colmos (Dinardo-Miranda, 2008). Os colmos mortos e secos diminuem a capacidade de moagem, dificultam a recuperação de açúcar e a fermentação, o que interfere nos rendimentos industriais (Dinardo-Miranda, 2003, Garcia et al. 2010).

A colheita da cana crua, sem a queimada prévia, tem provocado a ocorrência de altas populações de cigarrinha-das-raízes, principalmente no Centro-Sul, onde ela passou

a se manifestar de forma epidêmica, por ter encontrado na palha residual da colheita mecanizada condições altamente favoráveis ao seu desenvolvimento (Garcia et al. 2007, 2006, Macedo & Macedo, 2004).

2.2-Interação inseto-planta

As plantas estão continuamente passíveis de serem atacadas por herbívoros, onde estes buscam nas plantas, nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento. Na maioria dos ecossistemas terrestres, insetos fitófagos representam uma das principais ameaças para as plantas (Schoonhoven, Van Loon & Dicke, 2005). Para resistir ao ataque dos insetos, as plantas utilizam defesas eficazes e dinâmicas, como as defesas diretas e indiretas, as quais são de suma importância no comportamento adaptativo das plantas (Ballaré, 2009). Estudos ecológicos, fisiológicos e bioquímicos revelaram a ampla plasticidade de respostas das plantas ao ataque de herbívoros, classificando-as em: defesa indireta, em que sinais químicos (voláteis) são liberados para recrutar inimigos naturais para controlar os herbívoros presentes; defesa direta, onde a planta produz compostos tóxicos ou antinutritivos, os quais tem impacto imediato sobre o herbívoro; e a tolerância, que representa a capacidade da planta crescer, desenvolver e produzir satisfatoriamente mesmo com um determinado nível de infestação do herbívoro (Kerchev et al. 2012). Apesar da planta possuir uma série de alterações fisiológicas para compensar o ataque dos insetos, na maioria dos casos as respostas de defesa da planta estão associadas com a redução na taxa fotossintética (Bilgin et al. 2010). Genótipos de plantas que são capazes de manter a taxa fotossintética quando expostas ao ataque do inseto, muitas vezes apresentam uma maior tolerância a estes (Kerchev et al., 2012).

Insetos sugadores de seivas (xilema e floema) ocasionam impactos fisiológicos de longa duração sobre a planta, pois ao sugarem os nutrientes presentes nas seivas da planta, causam menor crescimento e redução na taxa fotossintética (Velikova et al., 2010), além de apresentarem sintomas como clorose, levando a perda prematura das folhas e decréscimo da produtividade (Li et al. 2013). A presença de insetos sugadores em plantas, além de danificar diretamente o tecido fotossintético, podem afetar indiretamente as trocas gasosas, por interromper o transporte de nutrientes e água (Aldea et al. 2005, Nykänen & Koricheva, 2004). Herbívoros que se alimentam da seiva do xilema necessitam consumir grandes quantidades do mesmo, uma vez que a demanda nutricional

dos insetos é elevada e a concentração de nutrientes presente na seiva do xilema é baixa, além de causarem danos ao mesofilo foliar e na cutícula. Como consequência da atividade dos insetos sugadores, há reduções nos parâmetros fisiológicos como a taxa fotossintética, a transpiração e a condutância estomática, além de alterações no potencial de água do xilema, o que simula um estresse hídrico na planta (Knapp et al. 1996, Florentine et al. 2005, Garcia et al. 2010, Moore et al. 2010).

2.3 -Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a”

Existem métodos não destrutivos que funcionam com simplicidade e rapidez que permitem leituras instantâneas para os parâmetros relacionando a eficiência fotossintética com a fluorescência da clorofila “a”. As principais variáveis observadas da fluorescência da clorofila “a” são: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), máximo rendimento quântico do FSII (F_v/F_m), quenching fotoquímico [$Y(NO)$], quenching não-fotoquímico [$Y(NPQ)$], rendimento quântico efetivo do FSII [$Y(II)$] e a taxa de transferência de elétrons (ETR). As variáveis de trocas gasosas são: taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), concentração de CO_2 interno (C_i) e transpiração (E).

A análise da fluorescência da clorofila “a” é capaz de detectar com segurança e confiabilidade efeitos de estresse e injúrias no processo fotossintético causados por fatores bióticos ou abióticos. As mudanças na cinética de emissão de fluorescência da clorofila “a” a partir de organismos fotossintéticos, são resultados de frequentes modificações na atividade fotossintética, principalmente com relação a eficiência quântica do transporte de elétrons através do FSII em folhas (Yusuf et al. 2010, Baker & Rosenqvist, 2004). Dentre os diversos parâmetros de fluorescência da clorofila que podem ser medidos, o máximo rendimento quântico fotoquímico do FSII (F_v/F_m), frequentemente avaliado pela máxima taxa de fluorescência da clorofila “a”, tem sido amplamente utilizado para comparar tecidos saudáveis e danificados devido a fatores bióticos (Rousseau et al. 2013). Folhas saudáveis apresentam valores entre 0.80 a 0.65, sendo que abaixo desse intervalo indica-se que os centros de reação do FSII foram danificados. A energia luminosa captada pelos pigmentos antena das clorofilas pelo FSII podem ser divididas entre duas frações: a energia usada na etapa fotoquímica pelo FSII [$Y(II)$] e a energia perdida não-fotoquímica [$Y(loss)$] = $1 - [Y(II)]$. A fração perdida não-

fotoquímica pode ser decomposta em: [Y(NPQ)] que corresponde à fração do rendimento da energia dissipada na forma de calor por meio de mecanismos fotoprotetores do FSII, e [Y(NO)] fração do rendimento de energia que é passivamente dissipada de outras formas (Klughammer & Schreiber, 2008).

O objetivo do presente estudo foi determinar se genótipos de cana-de-açúcar apresentam alterações nos parâmetros de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila “a” quando infestados por ninfas de cigarrinha-das-raízes.

3-Material e Métodos

3.1-Material Vegetal e Insetos

Os genótipos de cana-de-açúcar utilizados nesse experimento foram selecionados por serem reconhecidamente contrastantes quanto à resistência à cigarrinha-das-raízes (Valverde, 2012). O genótipo suscetível *Saccharum* spp. SP81-3250 e o genótipo resistente *Erianthus arundinaceus* H.Kawandang foram obtidos a partir da unidade de germoplasma do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA-UFV), no município de Viçosa-MG.

Segmentos de cana-de-açúcar de aproximadamente 5 cm contendo uma gema foram germinadas em bandejas plásticas de 36 cm por 50 cm com substrato agrícola (Plantmax®). Após trinta dias, as mudas foram transplantadas para unidades de crescimento constituídas de tubos de PVC (5,3 cm de diâmetro por 6,2 cm de comprimento) e preenchida com mistura de 50% solo e 50% substrato agrícola como descrito por Cardona et al. (1999). As unidades de crescimento foram fixadas em bandejas de 28 células com dimensões (60 cm comprimento, x 30 cm largura e 10 cm altura), as quais serviram de sustentação e proporcionaram um ambiente escuro e úmido. Cada célula da bandeja foi preenchida com vermiculita, possibilitando melhor crescimento radicular. Quarenta e cinco dias após o plantio, a vermiculita das células das bandejas foi retirada, expondo as raízes para receber as ninfas e iniciar o experimento. As unidades de crescimento foram cobertas com uma tampa, conexão redutora em PVC (4,9 cm de diâmetro por 5,5 cm de comprimento), a qual apresenta uma abertura central de 1,9 cm por onde a haste da planta de cana-de-açúcar foi colocada. O experimento foi conduzido

em casa-de-vegetação com fotoperíodo 12:12 (D:N), temperatura $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $70\% \pm 10\%$.

Adultos de cigarrinha-das-raízes foram coletados em campo com auxílio de rede entomológica em canaviais do Centro de Pesquisa e Melhoramento de Cana-de-Açúcar (CECA) localizada em Oratórios-MG. Os insetos foram dispostos em gaiolas confeccionadas com tecido de musselina (80 x 100 x 50 cm) com plantas de cana-de-açúcar do genótipo SP80-1816 para a alimentação, acasalamento e obtenção de posturas de acordo como descrito por Garcia et al. (2007). Os ovos coletados das posturas foram dispostos em placas de Petri com papel filtro e acondicionados em B.O.D com $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa $70\% \pm 10\%$ e fotoperíodo 12:12 (D:N) até a eclosão. As ninfas provenientes da criação foram utilizadas para a infestação das plantas, sendo transferidas individualmente com o auxílio de pincel redondo nº 0.

3.2-Avaliações de Trocas Gasosas

As medidas fisiológicas de trocas gasosas foram realizadas na primeira folha completamente expandida (folha +1) entre 9 e 12 horas, conforme Sato et al. (2010). A determinação da folha a ser utilizada seguiu a classificação de Kuijper descrita por Cheavegatti-Gianotto et al. (2011). A taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e concentração de CO_2 interno (C_i), foram realizadas com um analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor - Li6400 XT, Lincoln, NE, USA), acoplado com um fluorímetro portátil de luz de frequência modulado e câmara foliar 2 x 3 cm (Li6400-40) em concentração de CO_2 externo de $400 \mu\text{mol}^{-1}$. Utilizou-se fonte de luz artificial de fluxo de $1500 \mu\text{mol fôtons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e temperatura da câmara foliar constante, 26°C . O ar de referência foi coletado a 1,50 m de altura do solo e homogeneizado em um galão de 20 litros antes de alcançar a câmara foliar.

3.3-Avaliações da fluorescência da clorofila “a”

A fluorescência da clorofila “a” foi medida na folha +1 de cada planta no período noturno entre as 4h e 6h, a fim de garantir a adaptação ao escuro pelas folhas e determinar os seguintes parâmetros: (F_0) = fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro, (F_M) = fluorescência máxima da folha adaptada ao escuro, (F_v) = fluorescência máxima

variável, (F_v/F_m) = máxima eficiência quântica do FSII, (ETR) = taxa de transporte de elétrons. Todas as medições fotossintéticas do rendimento quântico do FSII foram realizadas entre 9h e 12h, para garantir a adaptação da folha à luz, sendo (F_m') = fluorescência máxima da folha adaptada ao claro e (F_s') = fluorescência estacionária na luz. Os parâmetros de rendimento quântico do FSII foram: quenching fotoquímico $[Y(NO)]$, quenching não-fotoquímico $[Y(NPQ)]$ e o rendimento quântico efetivo do FSII $[Y(II)]$. Os parâmetros de fluorescência foram estimados da seguinte forma: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, $Y(II) = (F_m' - F_s')/F_m'$, $Y(NPQ) = (F_s'/F_m') - (F_s'/F_m)$ e $Y(NO) = F_s'/F_m$ (Huang et al. 2013).

4-Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento completamente ao acaso com 4 repetições, onde cada repetição foi composta pela média de 3 medições em cada folha. Utilizou-se o esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$ sendo 2 genótipos (H.Kawandang e SP81-3250), 2 níveis de infestação de cigarrinha (0 e 6 ninfas/planta) e cinco datas de avaliação (2, 3, 7, 14 e 21 dias após a infestação - DAI). Cada unidade experimental consistiu em uma conexão de tubo de PVC contendo uma planta de cana-de-açúcar. Utilizou-se ANOVA em medidas repetidas para analisar o efeito do tempo (dias de infestação), genótipos, tratamentos (infestado ou não) e todas as interações entre eles tanto dentro quanto entre cada data de avaliação. Realizou-se análise de regressão para os parâmetros de trocas gasosas (A , g_s , C_i e E) e de fluorescência da clorofila (F_v/F_m e ETR). Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico SAS (SAS Institute, 2008). Os gráficos foram obtidos via software SigmaPlot versão 12.3 (Sigmaplot, 2011). Os parâmetros de rendimento quântico do fotossistema II $[Y(II)]$, $[Y(NPQ)]$ e $[Y(NO)]$ foram analisados pela ANOVA.

5-Resultados

5.1-Trocas Gasosas (A , g_s , C_i , E)

A ANOVA para medidas repetidas no parâmetro de taxa fotossintética (A) não encontrou efeito significativo entre as fontes de variação genótipo (G), herbivoria (H) e a interação genótipo e herbivoria ($G \times H$) dentro das avaliações (2, 3, 7, 14 e 21 DAI).

Houve efeito significativo na taxa fotossintética ao longo do tempo (T) e nas interações entre tempo e genótipo (T x G), tempo e herbivoria (T x H) e tempo, genótipo e herbivoria (T x G x H) ($P < 0,05$; Tabela 1). Houve alteração na taxa fotossintética ao longo do tempo em todos os genótipos e tratamentos (infestado e não infestado). Os genótipos controle, tanto o SP81-3250 quanto o H.Kawandang, apresentaram reduções na taxa fotossintética desde o início das avaliações. O genótipo SP81-3250 apresentou função polinomial de terceiro grau decrescente ($R^2=0,56$; $P=0,0009$) e o genótipo H.Kawandang obteve função linear decrescente ($R^2=0,70$; $P < 0,0001$) (Figura 1). A redução na fotossíntese do genótipo controle SP81-3250 e H.Kawandang entre o 2º e o 21º DAI foi de 89,86% e 79,22%, respectivamente. O genótipo suscetível SP81-3250 infestado apresentou função polinomial de terceiro grau decrescente ($R^2=0,80$; $P < 0,0001$) e redução de 85,50% na taxa fotossintética entre o primeiro e o último dia de avaliação. Para o genótipo resistente, H.Kawandang, a tendência da taxa fotossintética ao longo do experimento foi diferente entre os tratamentos infestado e não infestado, sendo que o tratamento infestado apresentou função polinomial de segundo grau crescente ($R^2=0,24$; $P=0,0363$) e obteve um incremento de 59,74% na fotossíntese entre o 2º e o 21º DAI.

Tabela 1. Análise de variância de medidas repetidas ao longo do tempo dos parâmetros de trocas gasosas para dois genótipos de cana-de-açúcar (SP81-3250 e H.Kawandang).

Fontes de Variação		A (Fotossíntese)			Ci (Concentração interna de CO ₂)			g _s (Condutância estomática)			E (Transpiração)		
Dentro dos Objetos	gl _{den} /gl _{num}	Wilks'	F	P	Wilks'	F	P	Wilks'	F	P	Wilks'	F	P
		lambda			lambda			lambda			lambda		
Tempo (T)	4/9	0.0743	28.66	<0.0001*	0.0212	103.88	< 0.0001*	0.2128	8.34	0.0040*	0.3334	4.51	0.0281*
T x G	4/9	0.1370	14.14	0.0010*	0.2520	13.51	0.0009*	0.1410	13.65	0.0010*	0.1301	15.10	0.0001*
T x H	4/9	0.1162	17.10	<0.0001*	0.1180	22.28	0.0001*	0.1812	10.19	0.0025*	0.1730	10.77	0.0020*
T x G x H	4/9	0.2056	8.97	0.0037*	0.6881	2.75	0.4480	0.1724	10.80	0.0020*	0.1553	12.23	0.0010*

* Significante para $P < 0.05$.

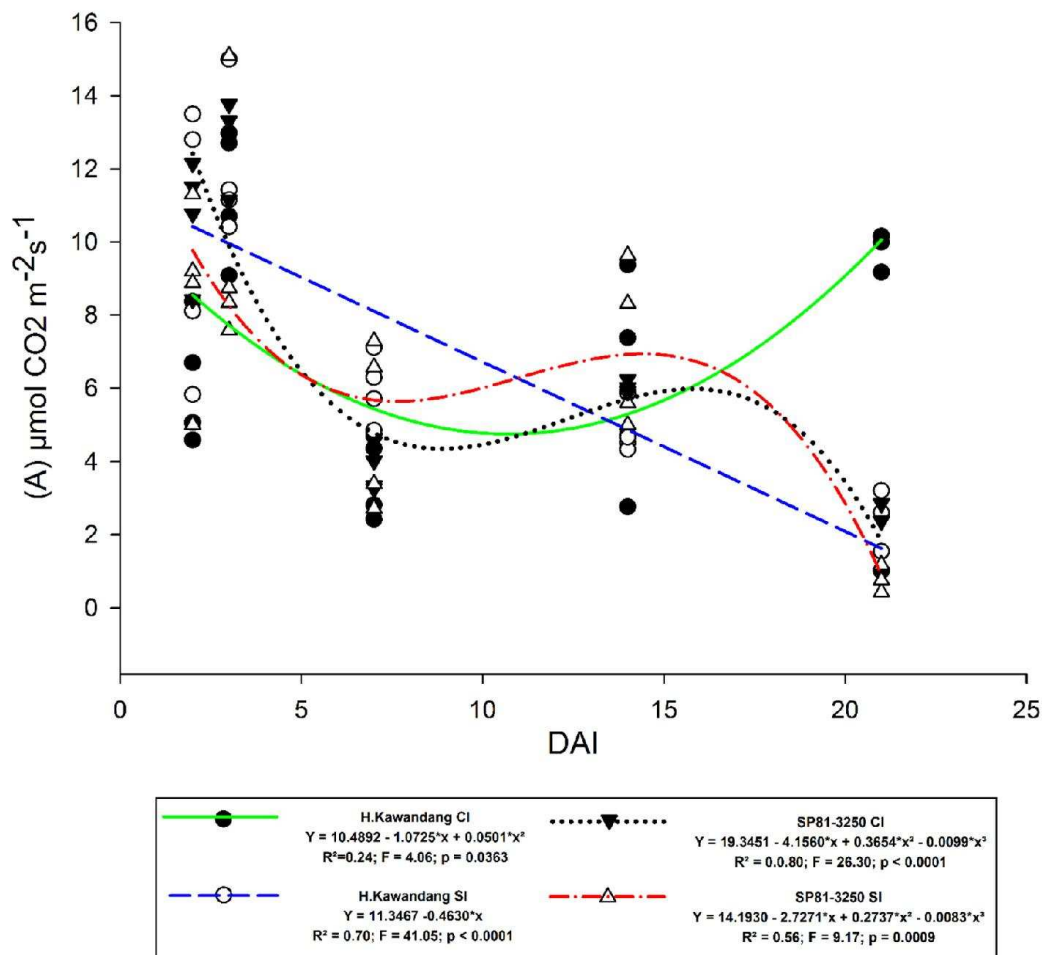


Figura 1. Taxa fotossintética (A) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

A condutância estomática (g_s) foi alterada significativamente entre as fontes de variação genótipo (G), herbivoria (H) e na interação entre genótipo e herbivoria (G x H) dentro das avaliações. Houve diferenças significativas ao longo do tempo (T) e nas interações entre tempo e genótipo (T x G), tempo e herbivoria (T x H) e tempo, genótipo e herbivoria (T x G x H) para o parâmetro de condutância estomática ($P < 0,05$; Tabela 1). As plantas de ambos os genótipos alteraram a condutância estomática no decorrer do tempo com tendência de redução entre a primeira e a última avaliação, com exceção do genótipo H.Kawandang infestado, o qual apresentou tendência de aumento nesse parâmetro de trocas gasosas. Os tratamentos sem inseto dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang apresentaram função polinomial de terceiro grau decrescente ($R^2 = 0,70$; $P < 0,0001$) e função linear decrescente ($R^2 = 0,66$; $P < 0,0001$), respectivamente (Figura 2).

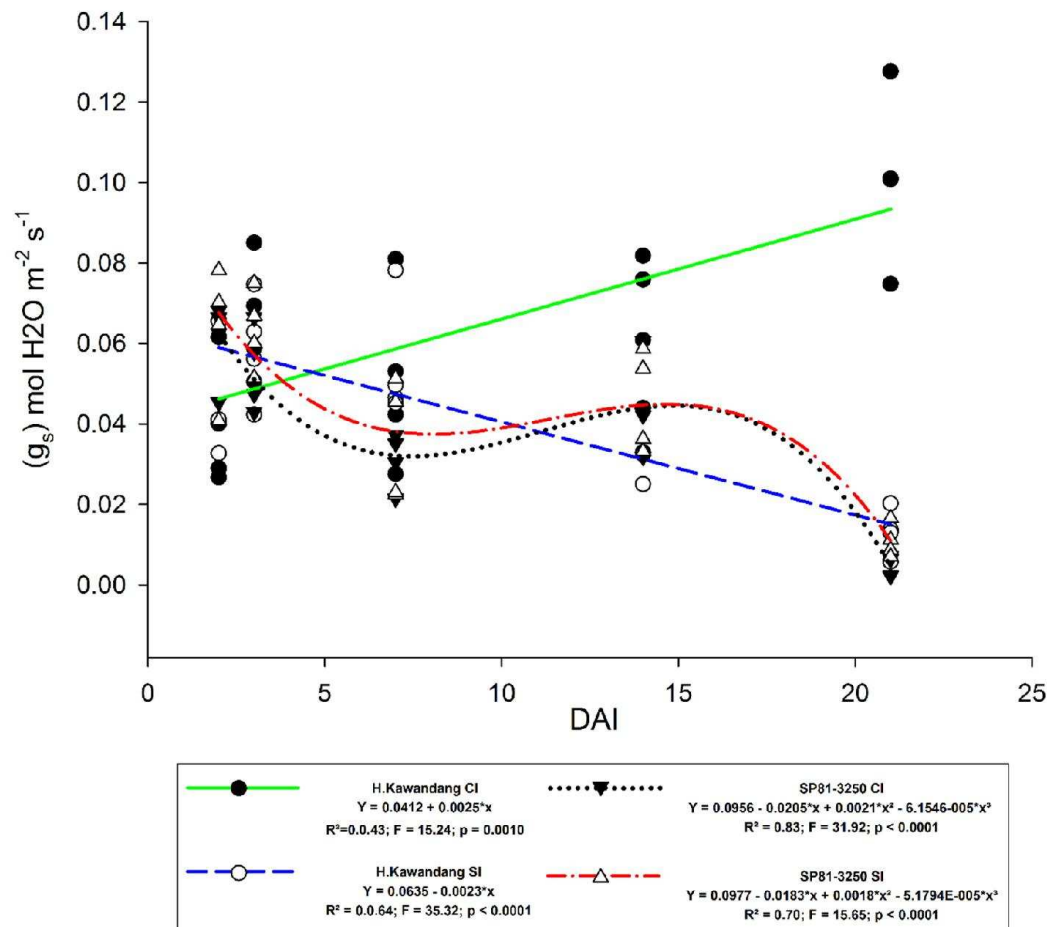


Figura 2. Condutância estomática (g_s) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

O genótipo SP81-3250 não infestado obteve um decréscimo de 82,82%, entre a primeira e a última data de avaliação e o genótipo H.Kawandang não infestado reduziu sua condutância estomática em 74,22% para o mesmo período. A condutância estomática do genótipo H.Kawandang infestado apresentou uma função linear crescente ($R^2=0,46$; $P=0,0010$) e um incremento de 156,90% entre a primeira e a última data de avaliação, resultado oposto ao tratamento não infestado do mesmo genótipo. O tratamento infestado do genótipo SP81-3250 obteve função polinomial de terceiro grau decrescente ($R^2=0,83$; $P<0,0001$) e um decréscimo de 92,45% entre a primeira e a última data de avaliação.

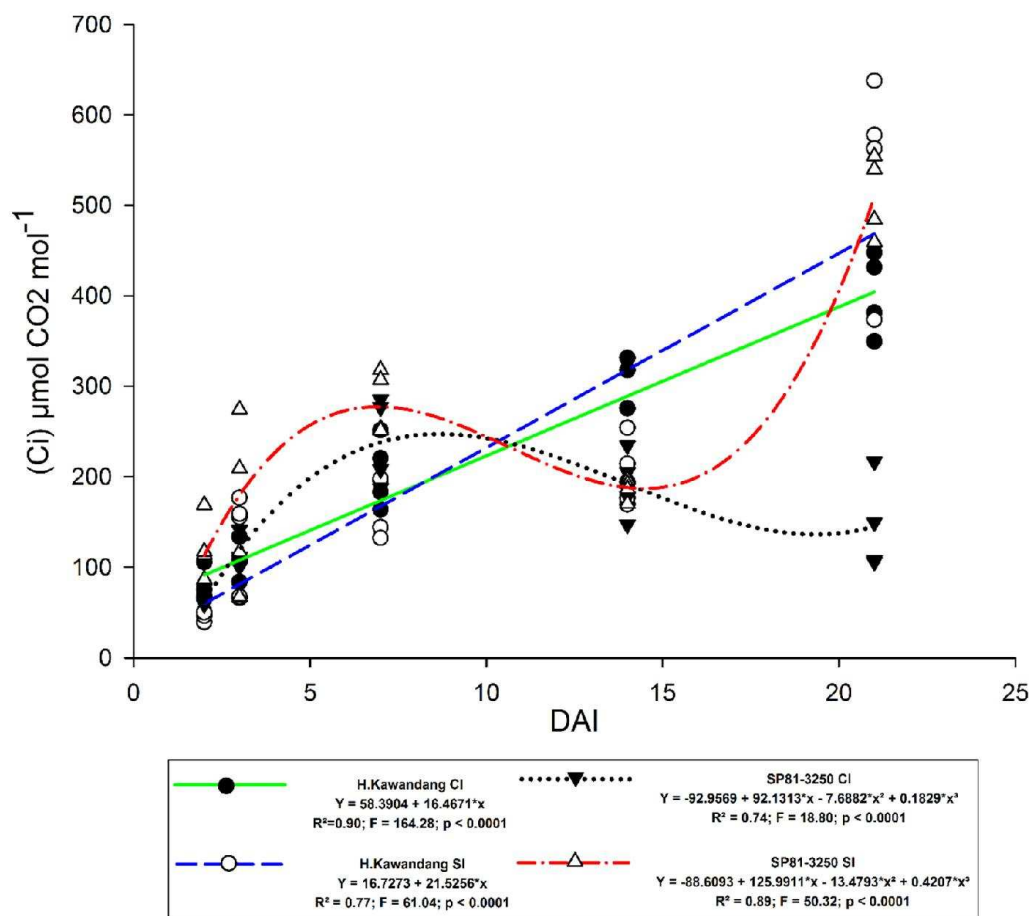


Figura 3. Concentração interna de CO₂ (Ci) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

A concentração de carbono interno (Ci) apresentou efeito significativo entre as fontes de variação herbivoria (H) e a interação entre genótipo e herbivoria (G x H), sendo que o genótipo não diferiu significativamente. Houve efeito significativo nas seguintes fontes de variação dentro da cada data de avaliação: tempo (T), tempo e genótipo (T x G) e tempo e herbivoria (T x H) ($P < 0,05$; Tabela 1). Os genótipos controle SP81-3250 e H.Kawandang apresentaram incremento na concentração interna de CO₂ ao longo de todo o experimento com função polinomial de terceiro grau crescente ($R^2 = 0,90$; $P < 0,0001$) e função linear crescente ($R^2 = 0,76$; $P < 0,0001$), respectivamente (Figura 3). Os tratamentos sem infestação, SP81-3250 e H.Kawandang, obtiveram incremento de 319,05% e 1054,27% entre o 2º DAI e o 21º DAI, respectivamente. Plantas de cana-de-açúcar do genótipo SP81-3250 infestadas obtiveram incremento de 124,66% na concentração de CO₂ entre o 2º e o 21º DAI e função polinomial de terceiro grau crescente ($R^2 = 0,78$;

$P<0,0001$). O genótipo H.Kawandang infestado obteve função linear crescente ($R^2=0,90$; $P<0,0001$) e aumento de 395,41% na sua concentração interna de CO_2 entre o 2º e o 21º DAI.

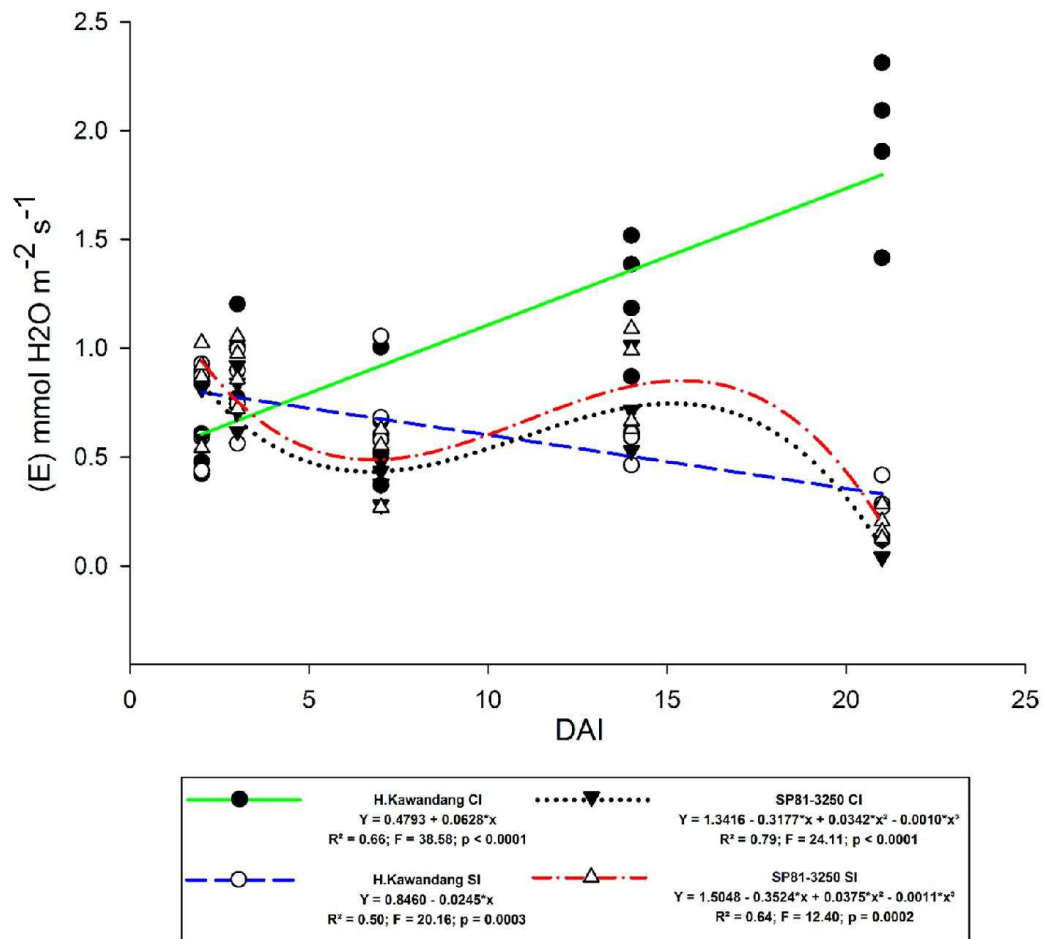


Figura 4. Transpiração (E) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

Os dados de transpiração (E) foram significativos para as fontes de variação, genótipo (G), herbivoria (H) e para a interação genótipo e herbivoria (G x H) entre as datas de avaliação. Dentro das datas de avaliação também houve efeito entre o tempo (T) e nas interações tempo e genótipo (T x G), tempo e herbivoria (T x H) e tempo, genótipo e herbivoria (T x G x H) ($P<0,05$; Tabela 1). Os genótipos SP81-3250 e H.Kawandang do tratamento controle, apresentaram tendência de decréscimo na transpiração ao longo de todo o experimento com funções polinomial de terceiro grau ($R^2=0,64$; $P=0,0002$) e linear ($R^2=0,50$; $P=0,0003$), respectivamente (Figura 4). A redução da transpiração para o genótipo SP81-3250 e H.Kawandang foi de 77% e 61,33% entre o 2º e o 21º DAI,

respectivamente. Os genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados também apresentaram funções polinomial de terceiro grau ($R^2=0,79$; $P<0,0001$) e linear ($R^2=0,66$; $P<0,0001$), respectivamente, sendo que o genótipo resistente obteve um acréscimo de 222,10% e o suscetível um decréscimo de 89,20% entre o 2º e o 21º DAI.

5.2 - Fluorescência da clorofila “a” e rendimento quântico do FSII

A ANOVA para medidas repetidas do parâmetro taxa de transporte de elétrons (ETR) não encontrou efeito significativo do genótipo (G) e da herbivoria (H), mas houve efeito na interação entre o genótipo e a herbivoria (G x H). Para o ETR, observou-se efeito significativo ao longo do tempo (T) e nas interações entre tempo e genótipo (T x G) e tempo, genótipo e herbivoria (T x G x H) ($P<0,05$; Tabela 2). Os tratamentos controle dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang obtiveram funções lineares decrescente ($R^2=0,43$; $P=0,0010$) e ($R^2=0,60$; $P<0,0001$) (Figura 5), além de reduções de 44,16% e 65,92%, respectivamente, do 2º ao 21º DAI. O genótipo SP81-3250 infestado foi o tratamento que mais sofreu redução na taxa de transferência de elétrons, com 91,97% de redução entre a primeira e a última data de avaliação, além de função linear decrescente ($R^2=0,63$; $P<0,0001$).

Os dados da máxima eficiência quântica do FSII (F_v/F_m) foram significativos para as fontes de variação herbivoria (H) e para a interação entre genótipo e herbivoria (G x H). Observou-se efeito significativo para o tempo (T) e entre as interações tempo e herbivoria (T x H) e tempo, genótipo e herbivoria (T x G x H) ($P<0,05$; Tabela 2). Os genótipos controle, SP81-3250 e H.Kawandang apresentaram funções lineares decrescentes ($R^2=0,66$; $P<0,0001$) e ($R^2=0,60$; $P<0,0001$) (Figura 6). Ao longo do experimento, houve um decréscimo na máxima eficiência quântica do FSII de 10,51% e 3,87% entre o 2º e 21º DAI, para o SP81-3250 e H.Kawandang sem inseto, respectivamente. Para os tratamentos com inseto, o genótipo SP81-3250 obteve função polinomial de segundo grau decrescente ($R^2=0,92$; $P<0,0001$) e redução de 40% no parâmetro F_v/F_m entre o 2º e o 21º DAI. O genótipo resistente H.Kawandang infestado, apresentou função linear decrescente ($R^2=0,54$; $P=0,0001$) e redução de 9,66% entre o primeiro e o último dia de avaliação.

Tabela 2. Análise de variância de medidas repetidas ao longo do tempo dos parâmetros de fluorescência da clorofila “a” para dois genótipos de cana-de-açúcar (SP81-3250 e H.Kawandang).

Fontes de Variação		F _v /F _M (Máxima Eficiência Quântica do FSII)			ETR (Taxa de Transporte de Elétrons)		
Dentro dos Objetos	g _l _{den} /g _l _{num}	Wilks'	F	P	Wilks'	F _{approx}	P
		lambda			lambda		
Tempo (T)	4/9	0.0070	343.85	< 0.0001*	0.0360	60.59	<0.0001*
T x G	4/9	0.4331	2.94	0.0822	0.2554	6.56	0.0094*
T x H	4/9	0.1291	15.17	0.0005*	0.7990	0.56	0.6938
T x G x H	4/9	0.0947	21.49	0.0001*	0.1740	10.72	0.0020*

*Significante a $P < 0.05$

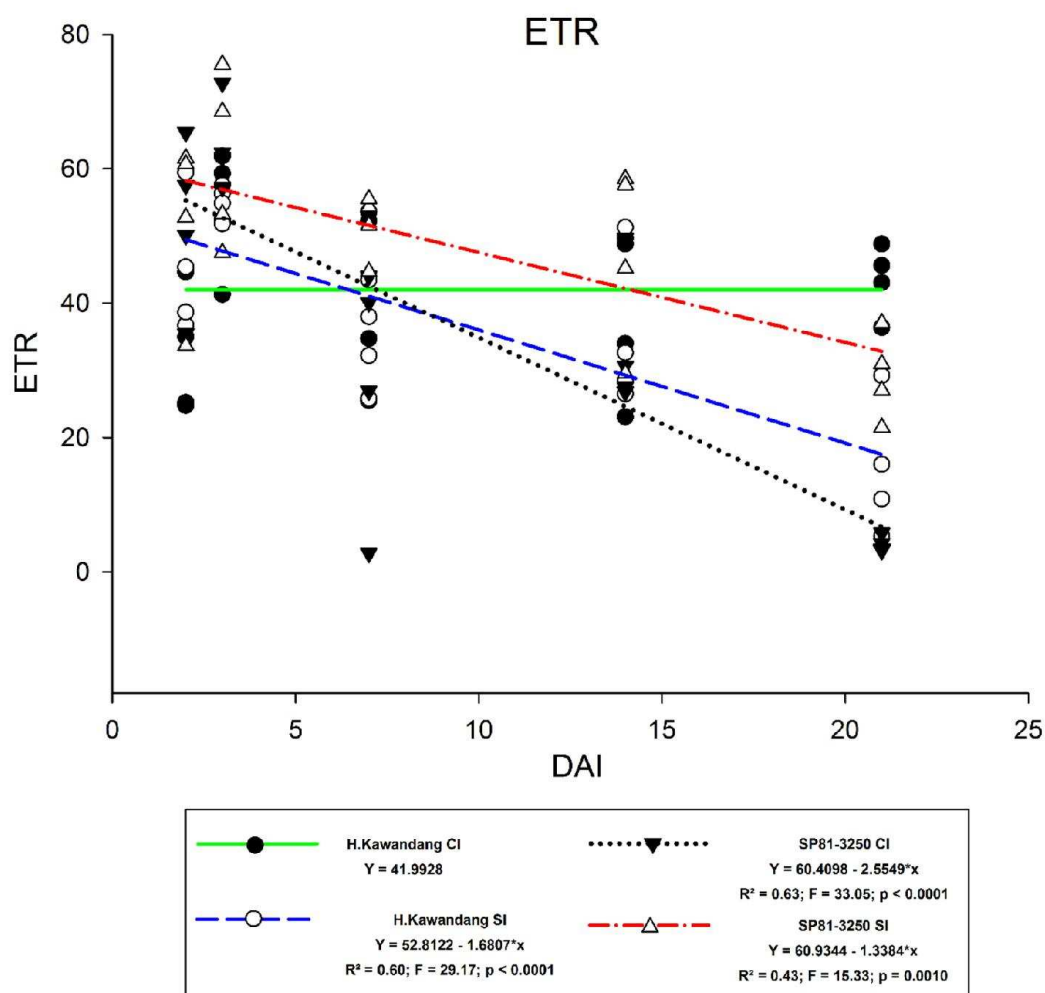


Figura 5. Taxa de transferência de elétrons (ETR) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

As análises estatísticas realizadas para os parâmetros quenching fotoquímico [Y(NO)], quenching não-fotoquímico [Y(NPQ)] e o rendimento quântico efetivo do FSII [Y(II)] não apresentaram efeito significativo para o 2º, 3º e 14º DAI. Para o 7º DAI, houve efeito significativo do parâmetro Y(NO) apenas para os tratamentos do genótipo SP81-3250, sendo que o tratamento infestado teve média menor comparado com o seu controle ($F_{3,15} = 31,11$; $P = 0,0471$) (Figura 7). Para a última data de avaliação (21 DAI), houve diferença significativa em dois dos parâmetros do rendimento do FSII para o genótipo H.Kawandang, sendo os seguintes: Y(II) $F_{3,15} = 26,27$; $P = 0,0003$ e Y(NPQ) $F_{3,15} = 38,93$; $P = 0,00135$ (Figura 8). O genótipo SP81-3250 apresentou diferença significativa

para todos os parâmetros do rendimento quântico do FSII, sendo eles: $Y(II) F_{3,15} = 26,27$; $P = 0,0009$, $Y(NPQ) F_{3,15} = 38,93$; $P < 0,0001$ e para o $Y(NO) F_{3,15} = 31,11$; $P < 0,0001$. Apenas para o $Y(NPQ)$ o genótipo SP81-3250 infestado obteve média maior do que o seu controle.

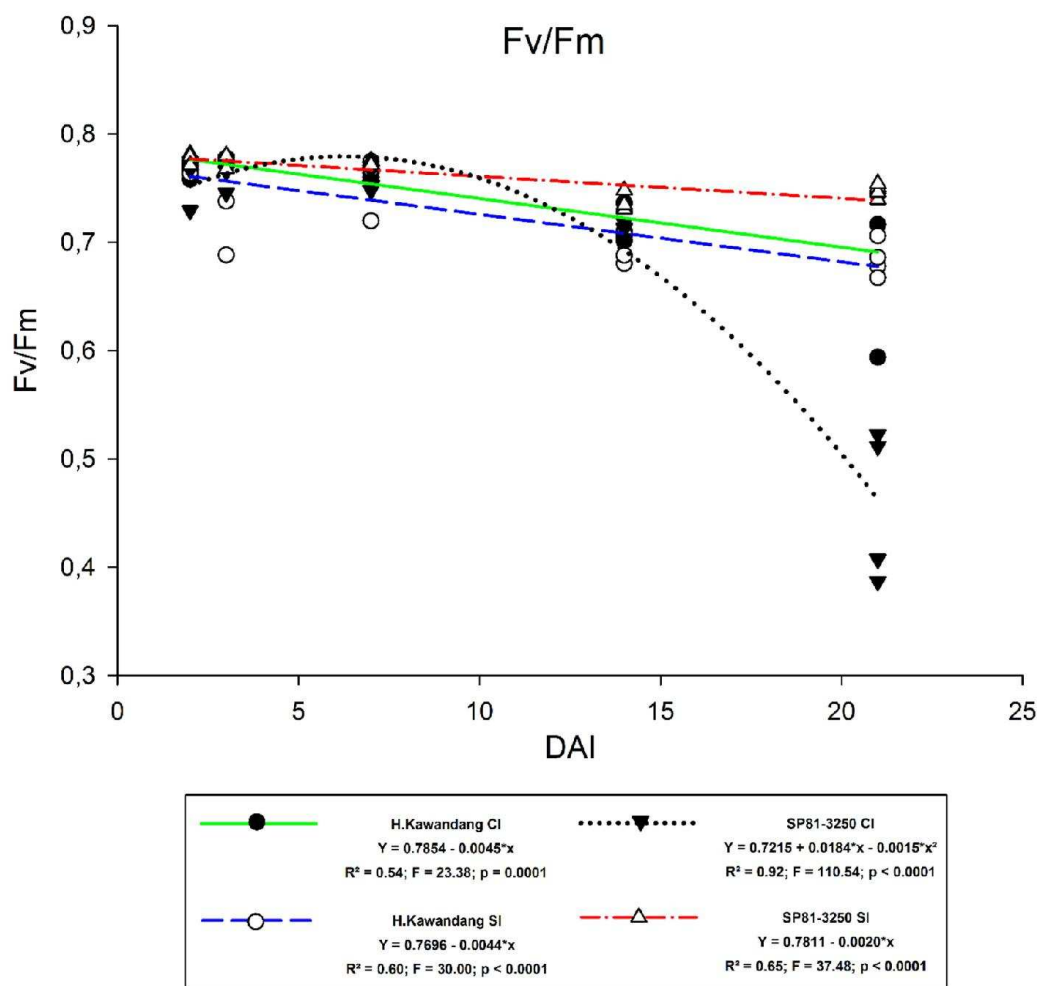


Figura 6. Máxima eficiência quântica do FSII (F_v/F_m) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo do tempo (DAI = dias após a infestação) e funções de regressão de cada genótipo e tratamento.

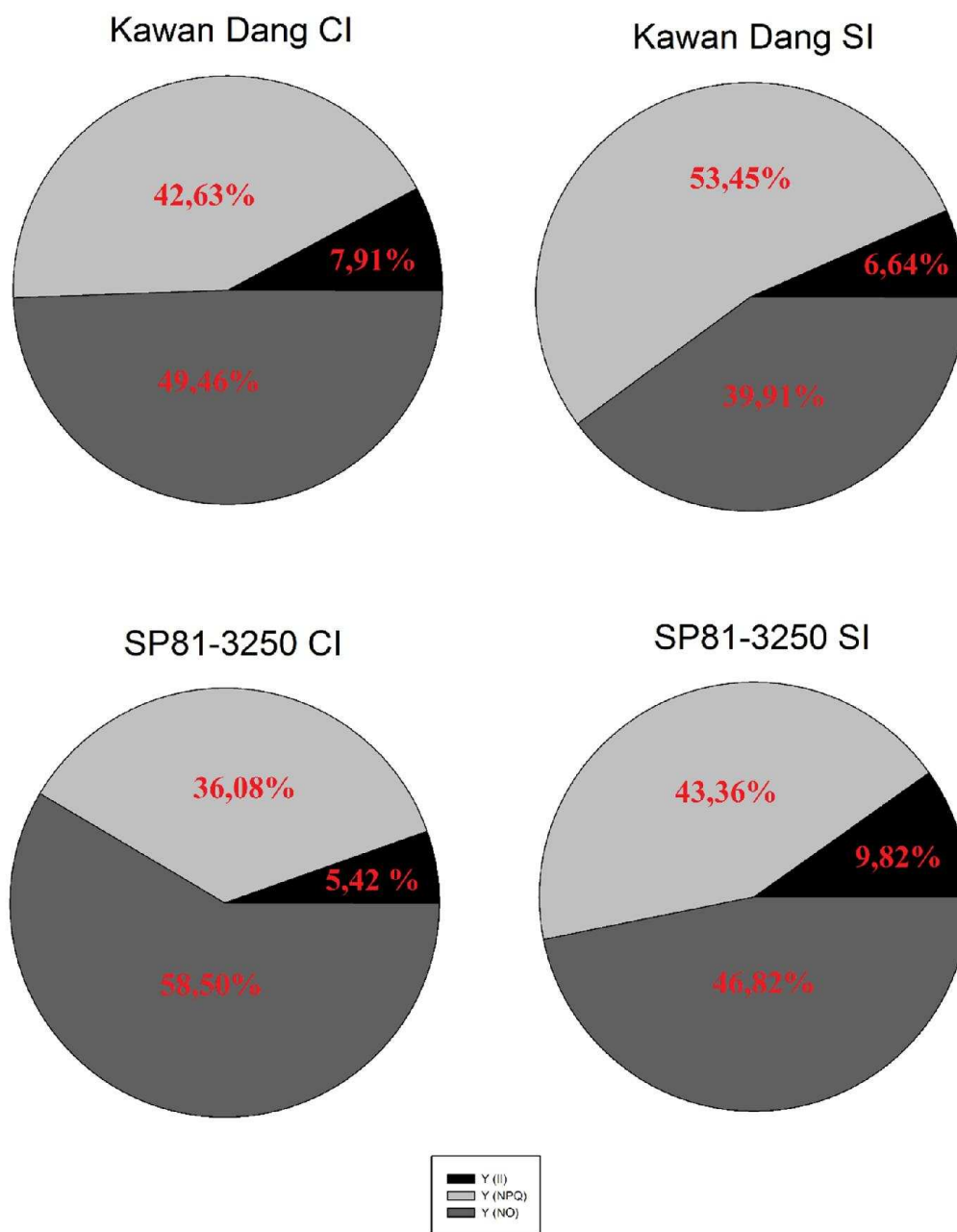


Figura 7. Rendimento quântico efetivo do FSII [Y(II)], rendimento do quenching não-fotoquímico Y(NPQ) e rendimento do quenching fotoquímico Y(NO) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinhas-das-raízes no 7º DAI (DAI = dia após a infestação).

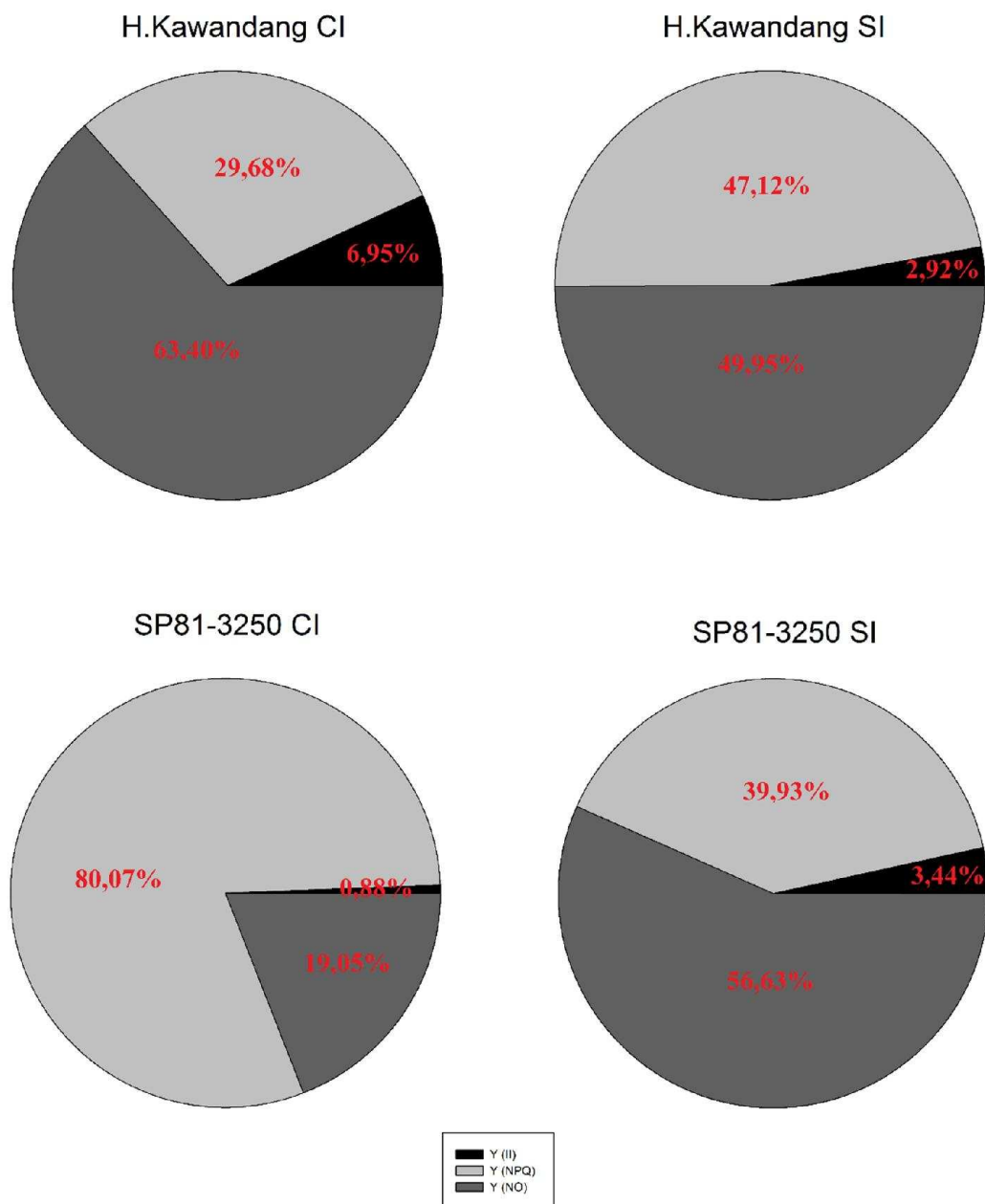


Figura 8. Rendimento quântico efetivo do FSII [Y(II)], rendimento do quenching não-fotoquímico Y(NPQ) e rendimento do quenching fotoquímico Y(NO) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang infestados (CI) e sem infestação (SI) por ninfas de cigarrinha-das-raízes no 21º DAI (DAI = dia após a infestação).

6-DISCUSSÃO

6.1-Trocas gasosas

Este estudo investigou os efeitos da presença da cigarrinha-das-raízes em dois genótipos de cana-de-açúcar reconhecidamente divergentes quanto à sua sensibilidade a

este inseto. A cigarrinha-das-raízes teve um impacto significativo nos genótipos de cana-de-açúcar estudado. Os parâmetros de trocas gasosas, taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), concentração de carbono interno (Ci) e transpiração (E) dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang foram alterados pela presença das ninfas de cigarrinha-das-raízes ao longo de todo o experimento. Os genótipos SP81-3250 e H.Kawandang sem infestação apresentaram aumento do Ci e redução dos parâmetros A, g_s , e E. O declínio desses parâmetros, principalmente a taxa fotossintética e a condutância estomática, estão relacionadas com a idade e a senescência natural das folhas (Kitajima et al. 1997, Damascos et al. 2005). Estas quando estão na fase inicial de crescimento e expansão, são classificadas como “dreno”, ou seja, possuem maiores taxas respiratórias e fotossintéticas além de se utilizarem de nutrientes e água de outras partes da planta. O crescimento e expansão dessa folha tende a estabilizar e se torna madura fisiologicamente, a qual é classificada como “fonte”. Com o tempo, a folha envelhece devido o processo de senescência natural e todo o maquinário fotossintético reduz sua funcionalidade e eficiência. Nessa situação, os parâmetros de trocas gasosas como a concentração interna de carbono (Ci) aumenta, devido ao direcionamento do CO_2 proveniente da respiração para a câmara subestomática e a não utilização pelo processo fotossintético, uma vez que os controles fisiológicos da folha estão em declínio. A planta limita a abertura estomática (g_s) a fim de evitar a perda de H_2O , pois este é um elemento essencial para sua manutenção e está associado a diversos processos bioquímicos para a sobrevivência da planta.

Assim, essa folha passa a ser fonte de água e nutrientes para outras folhas jovens, sua função como produtora de fotoassimilados é reduzida até sua morte. Um dos processos de senescência foliar é a desmontagem do aparato fotossintético dos complexos antena da clorofila, resultando em prejuízos na taxa fotossintética (Macedo et al. 2007), o que culminou na menor fotossíntese dos tratamentos sem inseto ao longo do tempo. A cana-de-açúcar tende a lançar novas folhas a cada 10 dias e com o desenvolvimento das folhas jovens, a atividade fotossintética das folhas velhas decresce, entrando em senescência para translocar principalmente nitrogênio para as mais novas (Cruciol et al. 2010, Kumagai et al. 2009).

Segundo Simpson et al. (2012), a infestação por *Myzus persicae* reduziu significativamente a taxa fotossintética e alterou o potencial osmótico de *Brassica oleracea*, além de sintomas de déficit hídrico, redução da condutância estomática e do nível de clorofila em plantas de cevada. Insetos sugadores reduzem a taxa fotossintética de muitas maneiras, sendo o decréscimo da condutância estomática e a alteração do

transporte de água os principais componentes responsáveis por essa redução (Nabity et al. 2009, Zvereva et al. 2010). A infestação por mosca-branca em plantas de tomate é responsável pelo decréscimo no conteúdo de clorofila, na redução da capacidade fotossintética e na condutância estomática (Buntin et al. 1993), e plantas de algodão tiveram as mesmas reduções nos parâmetros de trocas gasosas quando infestadas por ácaros (*Tetranychus*) (Sarwar, 2013).

A tendência de queda na taxa fotossintética do genótipo SP81-3250 infestado comparado com seu controle no decorrer do tempo foi mais pronunciada, o que indica a possível interferência negativa do inseto nas plantas de cana-de-açúcar. Essa redução da fotossíntese ao longo do tempo, indica que quanto maior o período de interação entre o inseto e a planta, maior é o dano provocado pela atividade da cigarrinha-das-raízes, uma vez que o inseto suga maior volume de seiva do xilema afetando o desenvolvimento e a manutenção da planta. Com isso, a maquinaria fotossintética submetida à prolongada ação do inseto é menos capaz de utilizar o carbono para seu metabolismo fotossintético, o que é apoiado pelos estudos de Meyer & Whitlow (1992) e Moore et al. (2010). O período de infestação e a densidade dos herbívoros se alimentando em determinada planta são responsáveis por maiores perdas de clorofila resultando em menores taxas fotossintéticas, além de altas infestações de *Phenacoccus solenopsis* apresentarem perturbações nas organelas fotossintéticas, as quais são danificadas e prejudicam a eficiência do aparato fotossintético de plantas de tomate (Huang et al. 2013).

A redução da fotossíntese em genótipos SP81-3250 causada pela alimentação da cigarrinha-das-raízes condiz com estudos os quais relatam que insetos sugadores de seiva geralmente tendem a reduzir a taxa fotossintética (Gonda-King et al. 2014, Radiville et al. 2011). A redução da fotossíntese no genótipo SP81-3250 infestado pode ser devido a interferência no transporte de água das raízes para a parte aérea pela atividade do inseto. Insetos que permanecem longo período se alimentando de uma mesma planta causa impactos fisiológicos sobre a mesma devido a elevada remoção de nutrientes do xilema ou floema, resultando em menor crescimento e fotossíntese das plantas (Gonda-King et al. 2014). A obstrução dos vasos condutores de seiva causado por danos mecânicos como dilaceração, ruptura celular e morte das raízes está relacionado com a inserção do estilete das ninfas de cigarrinha-das-raízes. Isso compromete as raízes e ocasiona uma deficiência no transporte de água e nutrientes entre as raízes e as folhas, apresentando sintomas característicos de déficit hídrico (Garcia et al. 2007, Garcia et al. 2010). Estudos relacionados com *Myzus persicae* em plantas de couve concluíram que a infestação pelos

pulgões resultou em sintomas semelhantes ao estresse hídrico, e reduções significativas na taxa fotossintética (Simpson et al. 2012). Através da combinação de estímulos mecânicos e salivares pela alimentação de *Empoasca fabae* (cigarrinha da batata), ocorre respostas fisiológicas ao redor do local de alimentação e o transporte de fotoassimilados do floema e de nutrientes do xilema são reduzidos, assim como as taxas fotossintéticas (Ecale & Backus, 1995).

Segundo Macedo et al. (2009) um genótipo de trigo tolerante ao afídeo *Rhopalosiphum padi* apresentou redução significativa na taxa fotossintética com um dia após a infestação, indicando que independente da tolerância que o genótipo possui o afídeo pode ter um impacto negativo na fisiologia da planta em um curto período. Estudos relatam que a herbivoria pode causar respostas biológicas na planta incluindo a estimulação da taxa fotossintética e a redistribuição de carboidratos, sendo que a fotossíntese compensatória foi identificada em plantas de tomate as quais foram descritas como tolerantes a *Phenacoccus solenopsis* (Kerchev et al. 2012; Huang et al. 2013). Dessa forma, o incremento na taxa fotossintética observado no genótipo H.Kawandang pode ser relacionado com a resposta fisiológica da mesma no combate à infestação por cigarrinha-das-raízes, onde a fotossíntese desempenha um importante papel na interação inseto-planta. O incremento na taxa fotossintética do H.Kawandang comprova sua capacidade de resiliência e de ação aos danos causados pelo inseto.

Os dados de condutância estomática dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang não infestados apresentaram redução ao longo do tempo nesse parâmetro de trocas gasosas. Para esses tratamentos, essa redução do componente estomático é explicada devido a senescência natural da folha, uma vez que folhas velhas possuem menor capacidade de controle estomático e fisiológico. A planta reduz a quantidade de estômatos abertos evitando a perda de água por transpiração.

O genótipo SP81-3250 infestado, apresentou menores valores de condutância estomática comparado com o seu controle, resultado que comprova a interferência do inseto na fisiologia da cana-de-açúcar. O fato da cigarrinha-das-raízes se alimentar em plantas de cana-de-açúcar, interfere na absorção de água e ocasiona danos mecânicos na raiz. Diversos estudos mostram que artrópodes reduzem a fotossíntese em *Linaria dalmatica* (Peterson et al. 2005), fotossíntese, transpiração e condutância estomática em cerejas (Moore et al. 2010). Segundo estudo realizado por Gonda-King et al. (2014) árvores de *Tsuga canadenses* (cicuta canadense) infestadas por *Adelges tsugae* tiveram redução estomática em 29% em setembro e de 41% em outubro, quando comparadas com

seu controle, além do decréscimo de até 36% na taxa fotossintética. O mesmo autor relatou que a redução do componente estomático é devido a simulação do estresse hídrico induzido pela atividade dos afídeos, o que interferiu na fotossíntese das plantas. Essas informações são pertinentes e semelhantes ao encontrado pelo atual estudo, sendo que a restrição estomática do genótipo SP81-3250 infestado também explica a baixa taxa fotossintética, uma vez que quando há limitação da abertura estomática, menor será o aporte de CO₂ para a câmara subestomática e menos matéria-prima para a fotossíntese.

De forma oposta ao apresentado pelos tratamentos infestado e não infestado do genótipo SP81-3250 e do genótipo H.Kawandang sem inseto, o tratamento com inseto do H.Kawandang obteve ao longo do tempo um constante incremento no parâmetro de condutância estomática (g_s). Esse resultado diferiu da maioria dos estudos citados, tendo apenas o estudo de Kolb et al. (1991) resultado semelhante, onde plantas de *Acer saccharum* obtiveram maior condutância estomática e transpiração após a infestação por tripses *Taeniothrips inconsequens*. A maior condutância estomática pode ser uma resposta estratégica realizada pelo genótipo resistente à infestação das ninfas de cigarrinha-das-raízes, pois com a maior abertura estomática a planta poderá adquirir mais carbono externo (CO₂) para ser utilizado nos processos fotossintéticos.

Os genótipos controle, tanto o SP81-3250 quanto o H.Kawandang obtiveram aumentos na concentração interna de CO₂ (C_i) ao longo do experimento. Esse aumento é devido a não utilização do carbono no processo fotossintético. Como as folhas dessas plantas estão em processo de senescência, todo o aparato fotossintético é reduzido e a eficiência de fixação do CO₂ é diminuída, o que corrobora com os dados de fotossíntese (A). Estudo realizado por Huang et al. (2004) expõe que a redução da fotossíntese em plantas de arroz foi acompanhada por um aumento na concentração interna de CO₂, indicando que a menor capacidade fotossintética era devido a redução da eficiência de carboxilação pelo aparato fotossintético, ao invés da limitação estomática. Os resultados do presente estudo são relacionados com os apresentados por Kumagai et al. (2009) os quais relatam que todas as cultivares de arroz testadas aumentaram continuamente a concentração interna de carbono (C_i) e uma redução da fotossíntese (A) durante a senescência foliar. Assim, as reduções da taxa fotossintética e o incremento na concentração interna de CO₂ nos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang controle, são provenientes do aporte de carbono ambiental não utilizado pelo aparato fotossintético.

Mesmo com um incremento na concentração de carbono interno (C_i) pelo genótipo SP81-3250 infestado ao longo do experimento, ao comparar com o seu controle

o tratamento infestado obteve aproximadamente 2,5 vezes menos C_i , o que pode ser um indicativo de que a presença da cigarrinha-das-raízes provocou alterações fisiológicas na planta, resultando em menor assimilação de carbono ambiental. Esse resultado é semelhante aos encontrados em estudos como o de Macedo et al. 2009, que relata a redução da concentração de CO_2 em uma linhagem de trigo quando infestado por pulgão *Rhopalosiphum padi*, e no trabalho de Franzen et al. 2007, os quais descrevem que a alimentação por pulgões *Diuraphis noxia* e *Rhopalosiphum padi* em genótipos de trigo causam reduções na atividade fotossintética e que estas reduções estão relacionadas com a limitação estomática e com a menor absorção de CO_2 .

O genótipo H.Kawandang infestado apresentou tendência de aumento na concentração de carbono interno ao longo do tempo maior do que o seu controle, exceto para a última data de avaliação, o qual o tratamento não infestado obteve maior C_i . Isso é esperado devido ao comportamento da condutância estomática desse genótipo para os tratamentos infestado e não infestado. O genótipo H.Kawandang infestado, apresentou uma crescente abertura dos estômatos entre o 2º e o 21º DAI, o que possibilitou um maior aporte de CO_2 ambiental para a câmara subestomática. Esse incremento de CO_2 no tratamento infestado ao longo do experimento foi importante para a manutenção e posterior acréscimo na fotossíntese. Observando o incremento do carbono interno e da taxa fotossintética do genótipo H.Kawandang infestado, pode-se inferir que mesmo com a presença da cigarrinha-das-raízes se alimentando dessas plantas, elas não foram significativamente afetadas como o genótipo SP81-3250. Todo o aparato fotossintético do genótipo resistente se manteve em níveis eficientes como visto nos resultados da fotossíntese.

Como o apresentado nos parâmetros de fotossíntese e condutância estomática, a redução da transpiração (E) para o tratamento controle dos genótipos SP81-3250 e H.Kawandang é resultante da senescência natural da folha. Segundo Frazen et al. (2007) com o avançar da idade e a senescência das folhas, há uma tendência de declínio da capacidade fotossintética, além de alterações no metabolismo da planta. Para o genótipo SP81-3250 infestado, a tendência de redução da transpiração foi semelhante ao seu controle ao longo do experimento, e o genótipo H.Kawandang infestado foi o único tratamento que obteve incremento na transpiração. Os dados de transpiração estão relacionados com os dados de condutância estomática, o que pode ser observado pelos gráficos de ambos os parâmetros de trocas gasosas. Os dados desse experimento são semelhantes aos apresentados por Velikova et al. (2010), os quais relatam que a

condutância estomática e a transpiração são reduzidas significativamente após 3 dias da infestação. A redução da transpiração em *Arundo donax* infestadas por *Rhizaspidiotus donacis* foi 40% menor, em comparação ao seu controle, quando exposta ao herbívoro por 10 semanas e quando a mesma planta foi exposta a *Tetramesa romana* a transpiração foi 27% menor (Moore et al. 2010). Um experimento realizado em campo obteve significativa redução nos parâmetros de trocas gasosas, transpiração (13,2%), taxa fotossintética (9,6%) e condutância estomática (18,8%), quando folhas de dois genótipos de uva foram expostas a quatro cigarrinhas (*Empoasca fabae*) por dois dias. O mesmo experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, utilizando-se quatro genótipos de uva e quatro insetos, e obtiveram maiores reduções após a exposição das plantas à *Empoasca fabae* por três dias nos parâmetros transpiração (37,6%), taxa fotossintética (22,3%) e condutância estomática (45,4%) (Lamp et al. 2011). O incremento da transpiração pelo genótipo H.Kawandang infestado também é semelhante ao reportado por Kolb et al. (1991), os quais observaram um aumento da transpiração em plantas de *Acer saccharum* atacadas por trips (*Taeniothrips inconsequens*).

6.2-Fluorescência da clorofila “a” e rendimento quântico do FSII

Diversos estudos demonstraram que a presença de herbívoros se alimentando de plantas resulta em alterações nas trocas gasosas, e muitas dessas alterações estão relacionadas com danos no aparato fotossintético (Diaz et al. 2005, Simpson et al. 2012, Gutsche et al. 2009). Estudos de como as lesões causadas por herbívoros afetam a fisiologia da planta podem ajudar no entendimento dos mecanismos fisiológicos de tolerância e resistência das plantas a esses herbívoros, sendo essas informações de grande relevância para os programas de melhoramento genético (Tiffin 2000, Retuerto et al. 2004).

Nesse trabalho, demonstrou-se que a presença da cigarrinha-das-raízes foi responsável pela redução de dois dos parâmetros mais importantes e relevantes na eficiência do aparato fotossintético dos genótipos de cana-de-açúcar avaliados, sendo os seguintes: a taxa de transferência de elétrons (ETR) e a máxima eficiência quântica do FSII (F_v/F_m) (Baker & Rosenqvist, 2004). Observou-se que houve efeito negativo na interação entre os genótipos e o inseto, sendo que quanto maior foi a exposição da planta a atividade do inseto, menores foram os valores tanto de ETR quanto de F_v/F_m , principalmente para o genótipo suscetível SP81-3250.

A redução da fotossíntese e dos parâmetros de fluorescência (ETR e F_v/F_m), indicam algum dano na eficiência do aparato fotossintético. Sabendo-se que para a realização da fotossíntese a cadeia transportadora de elétrons deve estar trabalhando satisfatoriamente e caso ocorra alguma interferência ou dano no transporte de elétrons, a produção de ATP e NADPH será afetada e a continuidade do processo fotossintético será comprometida. Valores padrões para uma planta sem dano ao aparato fotossintético estão por volta de 0,80 de F_v/F_m , e quando plantas exibem valor abaixo de 0,80, considera-se que a maquinaria fotossintética foi danificada. Relatos anteriores têm demonstrado que plantas quando infestadas por insetos tendem a reduzir os parâmetros de trocas gasosas e de fluorescência, sendo a máxima eficiência quântica do FSII (F_v/F_m) o parâmetro limiar e determinante para a identificação de um estresse biótico (Kalaji & Guo 2008).

O resultado encontrado nesse trabalho é compatível com outros estudos, uma vez que a reduzida taxa fotossintética do genótipo SP81-3250 infestado tem grande influência na menor taxa de transferência de elétrons, o indica algum dano no aparato fotossintético. Segundo Li et al. (2013), a diminuição no parâmetro F_v/F_m das folhas de tabaco, em resposta à lesão por *Bemisia tabaci* é típica da resposta de muitas plantas ao estresse biótico, indicando uma reduzida eficiência do FSII.

Nesse trabalho, a cigarrinha-das-raízes foi responsável pela redução significativa de 40% do F_v/F_m no genótipo SP81-3250, e no genótipo resistente H.Kawandang houve uma redução de 10,51%, ficando evidente o nível de interferência da cigarrinha-das-raízes na fisiologia do genótipo suscetível. Esses resultados são pertinentes e confirmam com outros estudos como o de Golan et al. (2015), os quais relatam que *Coccus hesperidum* afetaram significativamente as taxas de F_v/F_m em plantas de *Citrus limon*. A alimentação imediata por *Murgantia histrionica* resultou em grave dano ao aparato fotossintético em plantas de couve, reduzindo em 15% o parâmetro de F_v/F_m , o qual aumentou ao longo de 48h após a alimentação do inseto (Velikova et al. 2010). Mesmo com a redução de 10,51% do parâmetro de F_v/F_m no genótipo H.Kawandang infestado, a cigarrinha-das-raízes não foi significativamente prejudicial à fisiologia daquele genótipo, uma vez que as taxas fotossintéticas foram crescentes após o 7º DAI. O pulgão do trigo *Diuraphis noxia* não teve um impacto significativo sobre o F_v/F_m de plantas resistentes, indicando que o complexo de clorofila e a transferência de elétrons para o centro de reação do FSII não foi impactado negativamente pelos pulgões (Franzen et al. 2007).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) apresentado pelo genótipo resistente infestado, H.Kawandang, foi o único tratamento que manteve os níveis desse parâmetro.

A manutenção do ETR pelo genótipo H.Kawandang infestado, comprova a baixa interferência da cigarrinha-das-raízes nesse genótipo, o que reflete na manutenção da taxa fotossintética como o visto nos resultados anteriores. Segundo Macedo et al. (2003), as injúrias causadas pelo pulgão da soja *Aphis glycines* não tiveram efeito significativo nos valores de ETR para as plantas avaliadas. O tratamento controle do H.Kawandang obteve um decréscimo linear ao longo de todo o experimento, o que explica a deficiência no processo fotossintético causada pela senescência natural da folha. A maior redução de ETR foi obtida pelo genótipo SP81-3250 infestado, 91,97% entre o 2º e o 21º DAI. Esse resultado é mais um indicativo da interferência negativa da cigarrinha-das-raízes ao aparato fotossintético daquele genótipo de cana-de-açúcar. Huang et al. (2013) relatam que sob baixa infestação de cochonilhas *Phenacoccus solenopsis*, as reações fotoquímicas e a taxa de transporte de elétrons de plantas de tomate não foram significativamente afetadas, porém quando se tem alta infestação e um longo período de interação entre inseto-planta, os parâmetros de fluorescência são afetados negativamente.

Por meio da interpretação dos gráficos de Y(II), Y(NPQ) e Y(NO) pode-se explicar o estresse sofrido pela planta devido a atividade das ninfas de cigarrinha-das-raízes, as quais causaram prejuízos na parte físico-química do sistema fotossintético de tal maneira que há luz sendo absorvida pelas clorofilas e não ocorre aproveitamento da mesma. A planta quando recebe luz solar, as clorofilas são excitadas e se tornam altamente reativas. Se essas clorofilas excitadas não sofrerem uma atenuação do seu estado estimulado, elas se tornarão um elemento gerador de estresse oxidativo. Como a clorofila não para de absorver luz, toda a absorção de luz em excesso deve ser dissipada. Caso a dissipação dessa energia luminosa captada pela clorofila for na forma de calor pelo ciclo das xantofilas, o parâmetro de Y(NPQ) irá aumentar. Se a dissipação for direcionada para a fotossíntese, o Y(II) sofrerá um incremento, porém caso não ocorra nenhum dos dois relatados, ocorrerá a dissipação na forma de calor que não seja controlado Y(NO). No genótipo susceptível, possivelmente a transferência de elétrons não está ocorrendo com eficiência, resultando em uma elevada quantia de clorofilas excitadas que irão deflagrar processos oxidativos no FSII da planta. Com isso, a planta terá que dissipar a energia gerada pela absorção da luz solar de outras formas, uma vez que esta não está sendo utilizada na fotossíntese. O genótipo SP81-3250 infestado teve uma redução significativa no Y(II) quando confrontado com o seu controle, indicando que a cigarrinha-das-raízes influenciou negativamente na eficiência fotoquímica daquele genótipo. Esse mesmo genótipo infestado obteve um incremento no Y(NPQ) no 21º DAI,

resultado que confirma o estresse sofrido pela planta e refere-se ao dano no aparato fotoquímico da mesma, uma vez que a planta está se utilizando do ciclo das xantofilas para dissipar toda a energia luminosa que foi absorvida e não utilizada no processo fotossintético.

O genótipo H.Kawandang infestado apresentou média superior ao seu controle para o rendimento quântico efetivo do FSII [Y(II)]. Esse resultado mostra que mesmo com a ação das ninfas de cigarrinha-das-raízes se alimentando da planta, os danos gerados pelos insetos não tiveram efeito negativo no rendimento do FSII, e o genótipo resistente manteve seu metabolismo e processo fotossintético. Segundo Golan et al. (2015), mudanças no quenching fotoquímico [Y(NO)] e no quenching não-fotoquímico [Y(NPQ)], sugerem que a alimentação por *Coccis hesperidum* podem influenciar na fotoproteção pelo ciclo das xantofilas, alterando o gradiente de pH da membrana dos tilacóides. Esse ciclo tem papel importante na proteção do FSII quando está sob excesso de energia durante um estresse biótico ou abiótico. A infestação de plantas de trigo por *Diuraphis noxia* resultou em decréscimo no Y(II) e em maiores valores do Y(NO), refletindo em menores taxas fotossintéticas (Franzen et al. 2007). Esses resultados são congruentes aos apresentados pelo genótipo SP81-3250, ficando evidente que a alimentação da cigarrinha-das-raízes ocasiona danos na maquinaria fotossintética de plantas de cana-de-açúcar daquele genótipo.

7-Conclusões

- Os parâmetros de fluorescência da clorofila “a” (ETR e F_v/F_m) são reduzidos quando há a presença de cigarrinha-das-raízes se alimentando de genótipos de cana-de-açúcar (SP81-3250 e H.Kawandang).
- O genótipo de cana-de-açúcar SP81-3250 utiliza-se principalmente do quenching não-fotoquímico para dissipar o excesso de energia absorvido pela planta em situação de estresse biótico causado por cigarrinha-das-raízes.
- A avaliação de trocas gasosas permite diferenciar genótipos resistente e suscetível à cigarrinha-das-raízes.

8-Referências bibliográficas

- ALDEA, M.; HAMILTON, J.G.; RESTI, J.P.; ZANGERL, A.R.; BERENBAUM, M.R.; DeLUCIA, E.H. Indirect effects of insect herbivory on leaf gas exchange in soybean. **Plant, Cell and Environment**, 28:402–411, 2005.
- BALLARÉ C.L. Illuminated behavior: phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. **Plant, Cell and Environment**. 32:713–725, 2009.
- BAKER, N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**. v. 55, nº.403, p. 1607–1621, 2004.
- BROEKGAARDEN, C; SNOEREN, T.A.L.; DICKE, M.; VOSMAN, B. Exploiting natural variation to identify insect-resistance genes. **Plant Biotechnology Journal**. 1–7, 2011.
- BUNTIN, G.D.; GILBERTZ, D.A.; OETTING, R.D. Chlorophyll loss and gas exchange in tomato leaves after feeding injury by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). **Journal of Economic Entomology**. 86:517–522, 1993.
- CAI, Q.; AITKEN, K.; DENG, H.H.; CHEN, X.W., FU, C.; JACKSON, P.A.; MCINTYRE, C.L. Verification of the introgression of *Erianthus arundinaceus* germplasm into sugarcane using molecular markers. **Plant Breeding**. 124: 322-328, 2005.
- CARDONA, C.; MILES, J.W.; SOTELO, G. An improved methodology for massive screening of *Brachiaria* spp. genotypes for resistance to *Aeneolamia varia* (Homoptera: Cercopidae). **Journal of Economic Entomology**. v.92, p.490-496, 1999.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H.M.C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J.C.; BURNQUIST, W.L.; CRESTE, S.; CIERO, L.; FERRO, J.A.; FIGUEIRA, A.V.O.; FILGUEIRAS, T.S.; GROSSI-DE-SÁ, M.F.; GUZZO, E.C.; HOFFMANN, H.P.; LANDELL, M.G.A.; MACEDO, N.; MATSUOKA, S.; REINACH, F.C.; ROMANO, E.; SILVA, W.J.; SILVA FILHO, M.C.; ULIAN, E.C. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**. 4(1): 62-89, 2011.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Segundo Levantamento, ago. 2014. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Conab, Brasília, 2014.
- DAMASCOS, M.A.; RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A. Gas exchange and plant growth after defoliation on leandra lacunosa, a cerrado woddy species with continuous leaf production. **Brazilian archives of biology and technology**. v.48, n.6, p.967-974, 2005.
- DIAZ, A.P.; MANNION, C.; SCHAFFER, B. Effects of adult diaprepes root weevil on leaf gas ex- change and growth of buttonwood and live oak. **Proceedings of the Florida state horticultural society**. 118: 310-313. 2005
- DINARDO-MIRANDA, L.L. Spittlebugs in sugarcane. **Instituto agrônômico**, Campinas, SP, Brazil. 2003.

- DINARDO-MIRANDA, L.L.; PIVETTA, J.P.; FRACASSO, J.V. Economic injury level for sugarcane caused by the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae). **Scientia Agricola** 65:16–24. 2008.
- ECALE, C.L.; BACKUS, E.A. Mechanical and salivary aspects of potato leafhopper probing in alfalfa stems. *Entomological. Experimental Applicata*. 77: 121-132. 1995.
- FLORENTINE, S.K.; RAMAN, A.; DHILEEPAN, K. Effects of gall induction by *Epiblema strenuana* on gas exchange, nutrients, and energetics in *Parthenium hysterophorus*. **BioControl** 50:787–801, 2005.
- FRANZEN, L.D.; GUTSCHE, A.R.; HENG-MOSS, T.M. Physiological and biochemical responses of resistant and susceptible wheat to injury by the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Mordvilko). **Journal Economy Entomologist** 100:1692–1703, 2007.
- GARCIA, J.F.; BOTELHO, P.S.M.; PARRA, J.R.P. Biology and fertility life table of *Mahanarva fimbriolata* (stål) (hemiptera: cercopidae) in sugarcane. **Scientia Agricola**, 63(4): 317-320, 2006.
- GARCIA, J.F.; BOTELHO, P.S.M.; PARRA, J.R.P.; APPEZZATO-da-GLÓRIA, B. Feeding site of the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) on sugarcane. **Scientia Agricola**, 64(5): 555-557, 2007.
- GARCIA, D.B.; Ravaneli, G.C.; Madaleno, L.L.; Mutton, M.A.; Mutton, M.J.R. Damages of spittlebug on sugarcane quality and fermentation process. **Scientia agricola**. Piracicaba. v. 67, n. 5, p. 555-561, 2010.
- GOLAN, K.; RUBINOWSKA, K.; KMIEĆ, K.; KOT, I.; GÓRSKA-DRABIK, E.; LAGOWSKA, B. MICHAŁEK. Impact of scale insect infestation on the content of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in two host plant species. **Arthropod Plant Interactions**. 9:55-65, 2015.
- GONDA-KING, L.; GÓMEZ, S.; MARTIN, J.L.; ORIAN, C.M.; PREISSER, E.L. Tree responses to an invasive sap-feeding insect. **Plant Ecology** 215, 297-304, 2014.
- GUTSCHE, A.R.; HENG-MOSS T.M.; HIGLEY L.G.; SARATH G.; MORNHINWEG D.W. Physiological responses of resistant and susceptible barley, *Hordeum vulgare* to the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia*. **Arthropody-Plant Interaction**. 3:233-240, 2009.
- HUANG, J.; ZHANG, P.-J.; ZHANG, J.; LU, Y.-B.; HUANG, F.; LI, M.-J. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in tomato leaves infested with an invasive Mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Environmental Entomology*, 42(5):973-979, 2013.
- HUANG, T.I.; REED, D.A.; PERRING, T.M.; PALUMBO, J.C. Feeding damage by *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae) and impact on growth and chlorophyll content of Brassicaceous plant species. **Arthropody-Plant Interactions**. 8(2):89-100, 2014.
- KALAJI, M.H.; GUO, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: Sanchez A, Gutierrez SJ (eds) Photochemistry research progress. **Nova Publishers**, pp 439–463, 2008.

- KERCHEV, P.I.; FENTON, B.; FOYER, C.H.; HANCOCK, R.D. Plant responses to insect herbivory: interactions between photosynthesis, reactive oxygen species and hormonal signalling pathway. **Plant, Cell and Environment**, 35: 441–453, 2012.
- KITAJIMA, K.; MULKEY, S.S.; WRIGHT, S.J. Decline of photosynthetic capacity with leaf age in relation to leaf longevity for five tropical canopy tree species. **American Journal of Botany**, 84 : (5), 702-708, 1997.
- KLUGHAMMER, C.; SCHREIBER, U. Saturation pulse method for assessment of energy conversion in PS I. **PAM Application Notes** 1: 11-14, 2008.
- KOLB, T.E.; MCCORMICK, L.H.; SHUMWAY, D.L. Physiological responses of pear thrips-damaged sugar maples to light and water stress. **Tree Physiology**. 9:401–413, 1991.
- KUMAGAI, E.; ARAKI, T.; KUBOTA, F. Characteristics of gas exchange and chlorophyll fluorescence during senescence of flag leaf in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under nitrogen-deficient condition. **Plant Production. Science**. 12:285-292, 2009.
- LAMP, W.O.; MIRANDA, D.; CULLER, L.E.; ALEXANDER, L.C. Host suitability and gas exchange response of grapevines to potato leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae). **Journal Economy. Entomology**. 104:1316-1322, 2011.
- LI, Q.; TAN, W.; XUE, M.; ZHAO, H.; WANG, C. Dynamic changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Nicotiana tabacum* infested by *Bemisia tabaci* (Middle East–Asia Minor 1) nymphs. **Arthropod-Plant Interactions**. 7:431-443, 2013.
- MACEDO, N.; MACEDO, D. As pragas de maior incidência nos canaviais e seus controles. **Visão agrícola**, 1: 38-46, 2004.
- MACEDO, T.B.; PETERSON, R.K.D.; DAUSZ, C.L.; WEAVER, D.K.; Photosynthetic responses of wheat, *Triticum aestivum* L., to defoliation patterns on individual leaves. **Environmental Entomology** 36:602-608, 2007.
- MACEDO, B.; BASTOS, C.S.L.; HIGLEY, G.; OSTLIE, K.R.; MADHAVAN, S. Photosynthetic responses of soybean to soybean aphid (Homoptera: Aphididae) injury. **Journal Economy. Entomology**. 96:188–193, 2003.
- MACEDO, T.B.; PETERSON, R.K.D.; WEAVER, D.K. Impact of *Diuraphis noxia* and *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) on primary physiology of four near-isogenic wheat lines. **Journal Economy. Entomology** 102:412–421, 2009.
- MARCONI, T.; COSTA, E.; MIRANDA, H.; MANCINI, M.; SILVA, C.; OLIVEIRA, K.; PINTO, L.; MOLLINARI, M.; GARCIA, A.; SOUZA, A. Functional markers for gene mapping and genetic diversity studies in sugarcane. **BMC research notes**, v.4, p.264-268, 2011.
- MEYER, G.A.; WHITLOW, T.H.. Effects of leaf and sap feeding insects on photosynthetic rates of goldenrod. **Oecologia** 92: 480-489, 1992.
- MOORE, G.M.; WATTS, D.A.; GOOLSBY, J.A. Ecophysiological responses of giant reed (*Arundo donax*) to herbivory. **Invasive Plant. Sci. Manag.** 3:521-529, 2010.
- NABITY, P.D.; ZAVALA, J.A.; DELUCIA, E.H. Indirect suppression of photosynthesis on individual leaves by arthropod herbivory. **Annals of Botany**. 103:655–663, 2009.

- NYKÄNEN, H.; KORICHEVA, J. Damage-induced changes in woody plants and their effects on insect herbivore performance, a meta-analysis. **Oikos** 104, 247–268, 2004.
- PETERSON, R.K.D.; SING, S.E.; WEAVER, D.K. Differential physiological responses of Dalmatian toadflax, *Linaria dalmatica* L. Miller, to injury from two insect biological control agents: implications for decision-making in biological control. **Environmental Entomology**. 34: 899-905, 2005.
- RETUERTO, R.; FERNANDEZ-LEMA, B.; RODRIGUEZ-ROILLOA; OBESO, J.R. Increased photosynthetic performance in holly trees infested by scale insects. **Functional Ecology**. 18: 664-669, 2004.
- ROUSSEAU, C.; BELIN, E.; BOVE, E.; ROUSSEAU, D.; FABRE, F.; BERRUYER, R.; GUILLAUMÉS, J.; MANCEAU, C.; JACQUES, M.A.; BOUREAU, T. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods** 9:17, 2013.
- SAS Institute. **SAS/STAT User's Guide**, Cary, NC, USA. 2008.
- SAGE, R.F. The evolution of C4 photosynthesis. **New Phytologist**. 161, 341–370, 2004.
- SARWAR, M. Comparing abundance of predacious and *Phytophagous mites* (Acarina) in conjunction with resistance identification between Bt and non-Bt cotton cultivars. **African Entomology**, 21(1):108-118, 2013.
- SATO, A.M.; CATUCHI, T.A.; RIBEIRO, R.V.; SOUZA, G.M. The use of network analysis to uncover homeostatic responses of a drought-tolerant sugarcane cultivar under severe water deficit and phosphorus supply. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32:1145–1151, 2010.
- SIGMAPLOT. 2011. For windows, version 12.3. **Systat Software**, 2011.
- SCHOONHOVEN, L.M; LOON, J.A; DICKE, M. Insect-plant biology. Oxford **University press**- New York, p.421, 2005.
- SILVA-FILHO, M.C.; FALCO, M.C. Interação planta-inseto: adaptação dos insetos aos inibidores de proteinase produzidos pelas plantas. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, 2: 38-42, 2000.
- SIMPSON K.L.S.; JACKSON G.E.; GRACE J. The response of aphids to plant water stress - the case of *Myzus persicae* and *Brassica oleracea* var. capitata. - **Entomologia Experimentalis et Applicata**. 142: 191-202, 2012.
- TIFFIN, P. Mechanisms of tolerance to herbivore damage: what do we know? **Evolutionary Ecology**. 14:523-536, 2000.
- VALVERDE, A.H.P. Screening for resistance and identification of tolerance in sugarcane genotypes to spittlebug *Mahanarva fimbriolata*. 2012. 58 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, MG, 2012.
- VELIKOVA, V.; SALERNO, G.; FRATI, F.; PERI, E.; CONTI, E.; COLAZZA, S.; LORETO, F. Influence of feeding and oviposition by phytophagous pentatomids on photosynthesis of herbaceous plants. **Journal of Chemical Ecology**, 36:629–641, 2010.
- YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of γ-tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress:

Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 1797, p. 1428- 1438, 2010.

ZVEREVA, E.L.; LANTA, V.; KOZLOV, M.V. Effects of sap-feeding insect herbivores on growth and reproduction of woody plants: a meta-analysis of experimental studies. **Oecologia**, 163:949–960, 2010.