



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JULIANA CHIQUETTI FAZAM

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE INFESTAÇÃO DO
PERCEVEJO-MARROM *Euschistus heros* (Fabricius)
(Hemiptera: Pentatomidae)**

JULIANA CHIQUETTI FAZAM

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE INFESTAÇÃO DO
PERCEVEJO-MARROM *Euschistus heros* (Fabricius)
(Hemiptera: Pentatomidae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como pré-requisito a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Amarildo Pasini.
Coorientador Dr. Samuel Roggia.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Fazam, Juliana Chiquetti.

Comportamento espectral de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de infestação do percevejo-marrom *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) / Juliana Chiquetti Fazam. - Londrina, 2018.
63 f. : il.

Orientador: Amarildo Pasini.

Coorientador: Samuel Roggia.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Sensoriamento remoto na cultura da soja - Tese. 2. Reflectância de folhas de soja devido a ataque de percevejos - Tese. 3. Espectrorradiômetro aplicado a cultura da soja - Tese. 4. Comprimento de onda aplicado a injúrias por insetos - Tese. I. Pasini, Amarildo. II. Roggia, Samuel. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

JULIANA CHIQUETTI FAZAM

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE INFESTAÇÃO DO
PERCEVEJO-MARROM *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera:
Pentatomidae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como pré-requisito a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Amarildo Pasini
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marcos Rafael Nanni
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Londrina, 26 de fevereiro de 2018.

*Aos meus pais, Edna e Marcos e a minha irmã
Isabela, por abrirem para mim as portas do
universo, fazendo o possível e o impossível
para que eu chegasse até aqui e serem minha
motivação. Ao meu noivo Mateus, por todo
apoio e incentivo para que eu sempre almeje ir
além.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, sabedoria, paciência e pelas pessoas que estão comigo.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e ajudaram a realizar meus sonhos, são o meu alicerce e a inspiração para que eu enfrente todos os obstáculos da vida.

A minha irmã Isabela e ao meu noivo Mateus, pelo apoio em todos os momentos decisivos, por me ouvirem e estarem prontos a me ajudar.

Ao Prof. Dr. Amarildo Pasini e ao Dr. Samuel Roggia, pela orientação e pela honra de realizar este trabalho, aos ensinamentos, tempo e amizade dedicados.

Ao Msc. Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli, por todo suporte durante o trabalho, aos ensinamentos e ao tempo dedicado. A Embrapa Meio Ambiente, em especial ao Dr. Luiz Eduardo Vicente, a Marcela Stolff e toda equipe do laboratório de processamento de imagens.

A Universidade Estadual de Londrina (UEL), juntamente com os ilustres professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelas contribuições para a minha formação profissional.

Aos meus ilustres amigos, que estavam sempre dispostos a ajudar e são de extrema importância em minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por conceder bolsas para a formação de recursos humanos no campo de pesquisa científica e tecnológica, ao programa de Pós- Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, na qual fui contemplada.

Aos membros da banca, pelas contribuições oferecidas para a condução deste trabalho. E a todas as pessoas que colaboraram em algum momento para a realização deste trabalho.

“Se convivêssemos nas savanas com milhares de animais, talvez nunca nos decepcionássemos; mas, se convivemos com um ser humano, por mais fascinante que seja a relação, haverá inevitavelmente decepções.”

Augusto Cury

FAZAM, Juliana Chiquetti. **Comportamento espectral de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de infestação do percevejo-marrom *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O sensoriamento remoto pode ser uma estratégia para melhorar a praticidade do monitoramento do ataque de insetos nas lavouras, contribuindo para melhorar a eficiência do manejo de pragas em larga escala. Assim foi desenvolvido um estudo com objetivo de analisar e construir uma curva espectral da reflectância de folhas de soja de plantas sob diferentes níveis de infestação pelo percevejo-marrom (*Euschistus heros*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em blocos casualizados. Os tratamentos consistiram em três densidades de infestação: 0, 1 e 2 percevejos por planta. O período de infestação foi de 96 horas. Foram realizadas leituras nas folhas das plantas no primeiro e no sétimo dia após a infestação, utilizando-se um espectrorradiômetro (LI 1800 LI COR), com resolução de 2 nanômetros (nm). Foram realizadas leituras dos comprimentos de onda de 300 a 1100 nm. O comportamento espectral de plantas de soja atacadas permite observar um pico de reflectância na região do visível e um platô de estabilidade na região do infravermelho próximo, sendo que a reflectância, para a coleta aos sete dias após a retirada dos insetos, é maior. Para a mesma coleta, a curva normalizada apresenta os tratamentos com os maiores valores de reflectância e, uma sutil separação das curvas, até próximo dos 700 nm, apresentando um comprimento de onda estatisticamente diferente no teste de médias, 694 nm, sendo que os tratamentos de um e dois percevejos diferiram entre si, porém não se diferenciaram da testemunha. O mesmo ocorreu para o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), detectando parcialmente às injúrias sofridas pelas plantas. A primeira derivada do espectro mostra uma resposta típica de plantas submetidas a adversidades, em que foi possível observar o deslocamento (blue shift) do *red edge*, em ambas as leituras. Os box plots da primeira derivada mostram um acréscimo na média de reflectância para a coleta de sete dias. Três comprimentos de ondas, um na borda do vermelho (688 nm), para a leitura um dia após a retirada dos insetos e dois na banda do azul 488 e 404 nm, para a leitura realizada ao sétimo dia, foram obtidos pelo procedimento STEWISE e equações discriminantes foram criadas para as coletas com infestação de percevejo-marrom. Ao serem substituídas nelas as observações para a primeira coleta, apenas o tratamento com dois percevejos obteve acerto superior a 66%. Para a segunda coleta, o mesmo tratamento obteve maior erro de classificação, sendo confundido em 33% com o tratamento testemunha e com aquele com infestação de um percevejo por planta.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Reflectância de folhas. Espectrorradiômetro. Comprimento de onda.

FAZAM, Juliana Chiquetti. **Spectral behavior of soybean plants submitted to different levels of infestation of neotropical brown stink bug *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)**. 2018. 63 p. Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The use of remote sensing applied to plants can be a strategy to improve the monitoring of insects in the crops, reducing labor, acting as a facilitator of management and decision actions. The objective was to analyze and construct a spectral curve of the responses of soybean leaves under different levels of infestation of neotropical brown stink bug (*Euschistus heros*). The experiment was conducted in a greenhouse in randomized blocks. The treatments consisted of three infestation densities: 0, 1 and 2 neotropical brown stink bug per plant. The period of infestation was 96 hours. Plant leaf were read in the first and on the seventh day after infestation, using a spectrophotometer (LI 1800 LI COLOR) with a resolution of 2 nanometers (nm). Readings of wavelengths of 300 to 1100 nm were taken. The spectral behavior of attacked soybean plants allows to be observed a reflection peak in the visible region and a stability plateau in the near infrared region, and the reflection for the second read, seven day after infestation removal is higher. For the same collection, a normalized curve presents the treatments with higher reflection values and, a subtle separation of the curves, until the next 700 nm, presenting a statistically different wavelength, 694 nm, being treatments of one and two neotropical brown stink bug differed from each other, but were not differentiated from the attestant. The same occurred for the vegetation index of the normalized difference (NDVI), partially detecting the injuries suffered by plants. The first derivative of the spectrum shows a typical response of plants subjected to adversities, in which it was possible to observe the shift (blue shift) of the red edge, in both readings. The box plots show an increase in reflection for the second read, seven day after infestation removal. Three wavelengths, two in the band of blue 488 and 404 nm, for the second read, the border of the red (688 nm), for the first read, one day after infestation removal, were obtained by STEWISE procedure and discriminant equations were created for collections. When they were substituted in them the observations for the first read, only the treatment with two neotropical brown stink bug per plant obtained to better of classification, 66%. For the second read, the same treatment obtained a greater error of classification, being confused in 33% with the control treatment and with the infestation of a neotropical brown stink bug.

Keywords: Remote sensing. Leaf reflectance. Spectrophotometer. Wavelength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético	22
Figura 2 - Comportamento espectral de uma folha verde	26
Figura 3.1 - Reflectância de folhas de plantas de soja, submetidas a diferentes infestações por percevejo-marrom	40
Figura 3.2 - Feição de absorção de radiação, normalizada com contínuo removido, em folhas de plantas de soja submetidas a infestação por percevejo-marrom.....	42
Figura 3.3 - Pontos de inflexão do <i>red edge</i> , obtidos pelo pico máximo da primeira derivada do espectro normalizado nos seus correspondentes tratamentos de infestação de percevejo-marrom.....	45
Figura 3.4 - Primeira derivada, leitura realizada um dia após a retirada dos insetos, utilizando o espectrorradiômetro LI COR 1800, em plantas de soja.....	46
Figura 3.5 - Primeira derivada, leitura realizada sete após a retirada dos insetos, utilizando o espectrorradiômetro LI COR 1800, em plantas de soja.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Índices de vegetação da curva espectral de folhas de soja submetidas a diferentes infestações por percevejo-marrom.....	43
Tabela 3.2 - Comprimentos de onda selecionados no procedimento STEPWISE análise estatística multivariada.....	49
Tabela 3.3 - Equações discriminantes lineares obtidas para os tratamentos com populações variadas de percevejo em soja, com dados espectrais obtidos via espectrorradiômetro.....	50
Tabela 3.4 - Erro de classificação, em porcentagem, de cada tratamento para função discriminante linear	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

I.V.	Infravermelho
IVP	Infravermelho próximo
MAPA	Ministério Da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MIP	Manejo Integrado de Pragas
NDRE	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do <i>Red Edge</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
nm	Nanômetros
RDVI	Índice de Vegetação da Diferença Renormalizada
SWIR	Infravermelho de ondas curtas
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Aspectos econômicos da sojicultura.....	17
2.2	<i>Euschistus heros</i> (Fabricius).....	18
2.3	Monitoramento de insetos-praga	19
2.4	Controle de insetos-praga	20
2.5	O espectro eletromagnético	22
2.6	Reflectância.....	24
2.7	Comportamento espectral da vegetação.....	25
2.7.1	Alterações na vegetação devido às injúrias por Pentatomidae	28
2.8	Índices de Vegetação	29
3	ARTIGO: CURVA ESPECTRAL DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A INFESTAÇÃO POR PERCEVEJO-MARROM.....	31
3.1	Resumo.....	31
3.2	Abstract	32
3.3	Introdução	33
3.4	Material e Métodos	34
3.5	Resultados e Discussão.....	38
4.	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICES	63
	APÊNDICE A –Comprimentos de onda que diferiram no teste de médias a 5% de significância	63

1. INTRODUÇÃO

O cenário agrícola atual demanda por energia para incrementar e viabilizar os processos produtivos. Nesse conflito, entre a busca da sustentabilidade e de novos padrões de consumo, no que tange à produção em longo prazo, (FERREIRA, 2013) verifica-se a necessidade de incrementar processos produtivos mais sustentáveis e viáveis para aplicação em larga escala, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir custos e impactos ambientais e sociais.

Cultivada em todo território nacional, a soja está sujeita ao ataque de diversas espécies de pragas que podem afetar o desenvolvimento e a produtividade da cultura, com prejuízo econômico para o agricultor (DEGRANDE & VIVAN, 2012). Tais argumentos justificam a constante preocupação com o controle fitossanitário da cultura.

Dentre as principais pragas, que causam prejuízos diretos à cultura da soja, *Glycine max* (L.) Merrill, o principal grupo engloba os desfolhadores, destacando-se os lepidópteros (Noctuidae e Erebidae) e os coleópteros (Chrysomelidae) (MOSCARDI et al., 2012). Das que atacam diretamente o grão, destacam-se os percevejos, principalmente as espécies *Euschistus heros* (Fabricius, 1798), *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) e *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) pelo potencial de dano e dificuldade de controle (PANIZZI et al., 2012).

As populações de insetos-praga que atacam a soja possuem ampla distribuição na área cultivada, dificultando a realização de um plano sequencial de amostragem (SOUZA et al., 2013). A amostragem é uma estratégia fundamental, sendo considerada um preceito básico e indispensável ao manejo integrado de pragas (MIP), pois indica o melhor momento para a tomada de decisões.

As amostragens de insetos são feitas manualmente com o uso de pano de batida e rede entomológica, dentre outros métodos, estes são mais comuns, não sendo um processo automatizado, o que demanda maior disponibilidade de tempo e mão de obra para a realização em campo, o deslocamento ao longo da lavoura torna o monitoramento para áreas extensas mais difícil, além da necessidade de assistência técnica idônea e treinada.

A detecção antecipada, através de monitoramento de pragas por amostragem, pode ser concebida através de dados utilizando-se a reflectância de um alvo, permitindo inferências confiáveis sobre a natureza da superfície reflexiva

(PALESTINA et al., 2015). Possibilita avaliar as condições da vegetação de um modo rápido, a um custo operacional relativamente baixo, com boa margem de exatidão na estimativa de áreas e exclusão da necessidade de deslocamento rotineiro aos locais de estudo (ROSA, 2005).

Tecnologias envolvendo análises não destrutivas e monitoramento de alteração fisiológicas, vem ganhando espaço. Imagens termais, avaliação de espectros de reflectância ou fluorescência, possuem potencial para serem utilizados preventivamente identificando alterações na vegetação, em larga escala, reduzindo perdas substanciais pela detecção antecipada dos estresses abióticos (EL-HENDAWY et al., 2017b).

Devido à importância das pragas para a soja, a adoção de novas tecnologias e métodos mais eficientes de amostragem visando um manejo mais adequado se tornam estratégias de grande interesse a toda cadeia produtiva da cultura, de forma a mitigar os prejuízos por eles causados.

Assim, foi desenvolvido um estudo com objetivo de analisar e construir uma curva espectral da reflectância de folhas de soja de plantas submetidas à diferentes níveis de infestação pelo percevejo-marrom (*Euschistus heros*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos econômicos da sojicultura

A balança comercial do agronegócio brasileiro superou as expectativas e fechou com superávit na safra 2016/2017, com o complexo soja registrando aumento de 19,4% na produção quando comparada ao mesmo período da safra anterior (CONAB, 2017).

As regiões Centro-Oeste e Sul atualmente destacam-se com o maior volume em produção da oleaginosa, juntos correspondem a mais de 60% da produção nacional (CONAB, 2017). Nos últimos anos, Mato Grosso desponta como o maior produtor de soja, registrando cerca de 27% do total nacional, seguido pelo Paraná, com 18% e Rio Grande do Sul, com 17% (EMBRAPA, 2017).

Em números absolutos, os maiores incrementos do setor de grãos vêm se destacando sobre a produção, com o manejo adequado dos desafios que surgem nas lavouras, aliado à redução das perdas. Fato este possível pela expansão da biotecnologia no campo. Atualmente novas tecnologias vêm sendo implementadas e difundidas no meio rural, como os organismos geneticamente modificados (AGUIAR et al, 2000).

A introdução, em 2005, da soja RR (resistente ao glifosato) alterou o manejo de plantas competidoras, pois antes era necessário o uso de vários produtos ou combinações visando o controle, os quais foram sendo substituídos por um único ingrediente ativo, ou seja, o glifosato. Esta foi a tecnologia de mais rápida aceitação na história da agricultura mundial (ALBRECHT et al., 2014).

Com a liberação do cultivo comercial da soja Bt em 2013, observou-se uma alteração drástica quanto ao controle de lepidópteros-praga da cultura (FRIZZAS & OLIVEIRA, 2006). Por meio da biotecnologia, a soja Bt recebeu o gene Cry1Ac, obtido da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), e passou a ser capaz de produzir a proteína inseticida Cry1Ac, as quais são tóxicas para algumas espécies de lagartas-pragas reduzindo, assim, a necessidade de uso de inseticidas para o seu controle (BRAVO et al., 2007; MICHELOTTO et al., 2011). Além disso, devido às reduções no número de aplicações, a soja Bt contribui para reduzir os impactos gerados no agroecossistema e promove um controle de outras pragas, pelo favorecimento dos inimigos naturais (DUNWELL, 2011).

2.2 *Euschistus heros* (Fabricius)

Em 1992 foi registrada a presença de percevejo-marrom em cultivos de soja na região norte do Paraná (PANIZZI & NIVA, 1994). Atualmente o mesmo é a principal praga da soja no Brasil, com crescente expansão desde a década de 70, sendo a soja o seu principal hospedeiro. Essa espécie é adaptada às regiões quentes, conseqüentemente apresenta população abundante em regiões como o Oeste e Norte do Paraná e Mato Grosso do Sul (GODDOY et al, 2010).

No norte do Paraná o percevejo-marrom constitui aproximadamente 90% do total de percevejos que ocorrem em soja (CORRÊA-FERREIRA et al., 2010b). Enquanto em regiões mais frias como no Rio Grande do Sul essa espécie tem sido registrada com frequência de 12% (KUSS-ROGGIA, 2009).

Por cerca de seis meses do ano, entre abril e novembro, permanece em diapausa, habitualmente, abrigado sob a palhada, próximo de plantas verdes nas bordas de mata ou capoeira. Nessa fase ele apresenta metabolismo reduzido, não se reproduz, não ataca culturas agrícolas, aparentemente utiliza as plantas com fonte eventual de água, sobrevive graças a reserva de lipídeos acumulada antes de entrar na diapausa (PANIZZI & HIROSE, 1995; PANIZZI & NIVA, 1994; PANIZZI & VIVAN, 1997).

O fim da diapausa ocorre por volta de novembro e nesse momento os percevejos iniciam a colonização da lavoura. Em regiões em que a soja é semeada em setembro e início de outubro, no período de colonização a soja já está na fase reprodutiva, o que contribui para a maior sobrevivência dos insetos e maior infestação na lavoura em relação a situações em que a semeadura é mais tardia (EMBRAPA, 2010). Os percevejos podem ocorrer na soja em qualquer estágio da planta, mas causam danos apenas quando o ataque ocorre a partir do surgimento das vagens. Populações crescentes de *E. heros* vem sendo encontradas na fase vegetativa da soja, devido a altas populações a campo e a desequilíbrios ocasionados pelo manejo errôneo, relacionado ao uso abusivo de inseticidas (CORRÊA-FERREIRA, 2005).

Os ovos são colocados entre as folhas e nas vagens, com eclosão em média de 3 a 7 dias. As ninfas, recém-eclodidas, possuem o hábito gregário, medindo em torno de 1 mm. Ao atingirem o 3º instar, começam a dispersar e causar danos expressivos na soja, fato este que dificulta o controle. O ciclo biológico

completa-se entre 32,0 e 38,6 dias aliado a temperaturas favoráveis (25°C). A longevidade dos adultos varia em torno de 116 dias, podendo estender-se por até 300 (COSTA et al., 1998).

Corrêa-Ferreira (2005) observou que a presença de percevejos não tem influência no rendimento de grãos no período que antecede a floração. Porém na fase reprodutiva, que é o período crítico, pode haver danos resultantes do ataque de percevejos devido a inserção do estilete nas vagens, provocando redução do vigor das sementes e perda da qualidade desses grãos, culminando em redução de peso e conseqüentemente em um menor rendimento.

2.3 Monitoramento de insetos-praga

Um plano de amostragem sequencial de pragas precisa ser consolidado, verificando a distribuição espacial das pragas na cultura (GILES, et al., 2000). Além disso, precisa-se determinar os índices de agregação a o tipo de distribuição para determinar a população em campo (ELLIOTT et al., 1990).

Estudos sobre a distribuição espacial de *E. heros* em soja identificaram que as ninfas de primeiro a terceiro instares, possui distribuição agregada, influenciada pelo hábito de postura (massa de ovos) das fêmeas. As ninfas de quarto e quinto instares e adultos comportam-se de moderadamente agregados para distribuição aleatória (SOUZA et al., 2013).

A amostragem é uma estratégia fundamental, sendo considerada um preceito básico e indispensável ao manejo integrado de pragas (MIP), pois sinaliza o melhor momento para a tomada de decisões. O MIP baseia-se em um conjunto de ações, que são tomadas de forma dinâmica, visando reduzir a população de pragas, com a adoção de diferentes táticas de manejo (GUEDES et al., 2006), com uma abordagem sustentável para gerenciar pragas combinando ferramentas biológicos, culturais, físicas e químicas de forma a minimizar riscos econômicos, de saúde e ambientais (STODDARD et al., 2010).

Nas lavouras de soja, os principais métodos convencionais de amostragem de pragas são pano-de-batida e rede entomológica (DREES & RICE, 1985), embora existam outros. O pano de batida foi descrito em 1969, para amostragem de pragas onde as condições de espaçamento entrelinhas tornaram-se reduzidas, sendo aplicadas a pragas com baixa mobilidade ou mais comuns ao terço

superior das plantas (BOYER & DUMAS, 1969). Por este motivo é utilizado no monitoramento de pragas como o complexo de lagartas desfolhadoras e percevejos.

A determinação de como as pragas são distribuídas espacialmente é crucial quando se considera um plano de amostragem tanto para cultivares geneticamente modificadas e convencionais (RODRIGUES et al., 2010), as vistorias devem ser semanais nas lavouras, independente do grupo a ser estudado. Para percevejos, deve ser iniciado a partir da formação de grãos, período qual causam mais danos, preferencialmente nas horas mais frescas do dia. Este método demanda conhecimento técnico para sua empregabilidade, sendo que em períodos críticos, com a migração dos insetos de culturas com ciclo mais curto, requerendo a intensificação das amostragens (CORRÊA-FERREIRA; PANIZZI, 1999), conseqüentemente demanda maior disponibilidade de tempo para a realização das mesmas e acréscimo de mão-de-obra.

A pressão exercida pelas multinacionais, quanto à venda de agrotóxicos, deixou o MIP em plano secundário, devido à maior exigência de mão-de-obra destinada as amostragens. Outro fato que culminou para isso é a escassez de assistência técnica idônea, voltada à aplicabilidade do controle integrado, fazendo com que seu emprego hoje seja mínimo (PANIZZI, 2006). De maneira geral, os usuários ou produtores rurais nem sempre são bem informados e, por consequência, não acreditam nas vantagens da adoção do MIP.

2.4 Controle de insetos-praga

A agricultura moderna utiliza-se de práticas intensivas de produção, comumente sem preocupações com o manejo sustentável (PATERNIANI, 2001).

O uso de agrotóxicos é a forma mais corriqueira empregada no controle de pragas de diversas culturas agrícolas. Na maioria das vezes, as aplicações de inseticidas são realizadas de forma inadequada, seja através de aplicações preventivas, utilizadas com muita frequência nas lavouras de soja, ou trabalhando com operações calendarizadas. Em muitos casos, alguns procedimentos como o aproveitamento de operações, aliado às aplicações frequentes de produtos de amplo espectro de ação, sobretudo na fase inicial do desenvolvimento da soja, e o não uso das amostragens de pragas com o método do pano, tem levado a grande desequilíbrio nas lavouras, acarretando em sérios

problemas (CORRÊA-FERREIRA et al., 2010). Associado a estes fatores temos também a grande expansão de áreas com a cultura da soja e a incidência de pragas em outras culturas ou hospedeiros alternativos.

Inseticidas químicos são comumente de alta toxicidade e de amplo espectro de ação, com consequências graves ao homem e ao meio ambiente, além de causar o aparecimento de populações de insetos resistentes (PRAÇA et al., 2004).

No período reprodutivo da soja, o percevejo-marrom é a principal praga. Na primavera, o término da sua diapausa coincide com o final do estágio vegetativo e início da formação de grãos, fato que proporciona rápida colonização das plantas de soja, permitindo até três gerações/safra (PANIZZI, 1997).

Devido aos fatores biológicos de desenvolvimento da referida praga, falhas de controle são comuns, o que conduz os produtores a utilizarem o mesmo inseticida repetidamente durante a mesma safra e com doses crescentes, culminando em resultados indesejáveis, proporcionando a seleção de populações resistentes. Adicionalmente, o incremento de população de percevejos, antes do período reprodutivo, faz com que as decisões sejam tomadas preventivamente (SOSA-GÓMEZ & SILVA, 2010, RIBEIRO et al, 2016). Adicionalmente a isso as populações de *E. heros* estão difíceis de serem manejadas com produtos habitualmente utilizados para seu controle, como exemplo: organofosforados (metamidofós, acefato, clorpirifós e monocrotofós) ou o endossulfan (SOSA-GÓMEZ et al 2009).

Sosa-Gómez & Silva (2010) identificaram populações de percevejo-marrom resistentes a metamidofós no Paraná. No ano 2000 no estado de São Paulo, em cultivos de soja, também foram registradas populações do mesmo inseto resistentes ao mesmo produto, resultado do uso sequencial do mesmo princípio ativo em doses crescentes (SOSA-GÓMES et al., 2001).

Como agravante, estão disponíveis para o agricultor inseticidas de apenas três grupos químicos: grupo 1 - Inibidores de acetilcolinesterase, grupo 3 - moduladores de canais de sódio e grupo 4 – Moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina (EMBRAPA, 2013). Essa baixa de diversidade de produtos dificulta o uso alternado de inseticidas de diferentes modos de ação, que é uma das principais estratégias para o manejo da resistência. Nesse contexto, o uso racional de inseticidas ganha importância como uma estratégia para a redução da pressão de seleção de indivíduos resistentes.

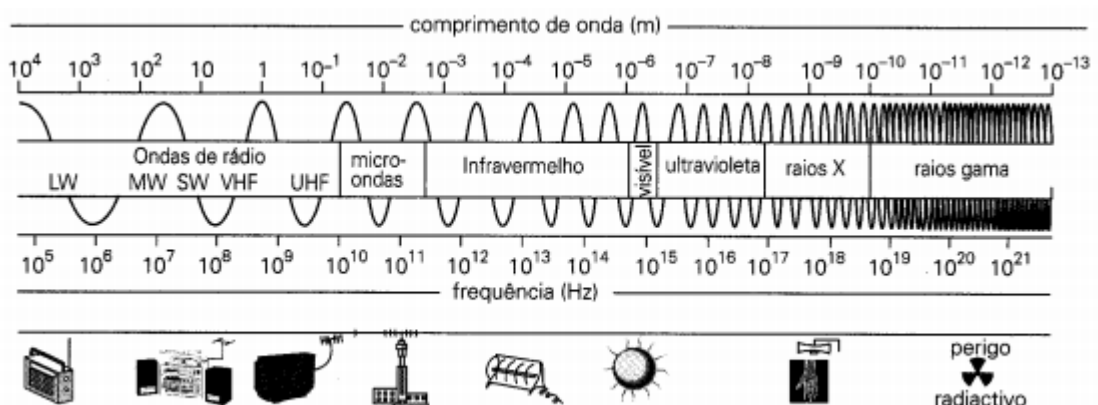
Os problemas de manejo fitossanitário são abrangentes entre as culturas. Martinelli e Omoto (2006) identificaram, na cultura do algodão, quatro espécies de lepidópteros praga, que já expressam ou tem propensão a terem populações resistentes aos produtos utilizados para o seu controle. O incremento de populações resistentes de *Spodoptera frugiperda* é, comumente, devido ao cultivo da “safrinha” de milho. Este fato proporciona a intensificação do controle de pragas, resultando na menor eficiência dos produtos tradicionalmente empregados para este fim (DIEZ-RODRÍGUEZ; OMOTO, 2001).

Desta forma, é necessário incrementar e fomentar os programas de manejo integrado de pragas (MIP), para que se difunda o uso de controle biológico de pragas, proporcionando reduções de aquisição de mecanismos de resistência. Isto se justifica pelo fato de que inúmeras espécies de artrópodes predadores atuam como agentes de controle biológico, ressaltando o importante papel destes inimigos naturais nos agroecossistemas, tanto no aspecto econômico como no ecológico, e desta forma racionalizando o uso de inseticidas reduzindo problemas ecológicos e sociais (RIBEIRO et al., 2016).

2.5 O espectro eletromagnético

O espectro de radiação eletromagnética contempla o conjunto de ondas eletromagnéticas de todas as frequências, estas por sua vez diferem-se em comprimento e alcance (ALLISON, 2013). Ondas eletromagnéticas são marcadas pela oscilação de campos elétricos e magnéticos, sendo que as diversas faixas do espectro eletromagnético se diferenciam no vácuo por suas frequências ou comprimentos de onda (LEITE; PRADO, 2012) (Figura 1).

Figura 1 - Espectro eletromagnético.



Novo (1989) apresenta a descrição de cada uma das faixas do espectro eletromagnético: A radiação gama é emitida por materiais radioativos, tem alta energia e é muito penetrante tem aplicações em medicina (radioterapia) e em processos industriais (radiografia industrial). Os raios X são produzidos através do freamento de elétrons de grande energia eletromagnética. Ultravioleta (UV) é produzido em grande quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de 3 nm até mais ou menos 380 nm.

O visível do espectro é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano variando dos comprimentos de onda de 380 a próximo dos 700 nm. A luz visível é um tipo de onda eletromagnética, não sendo composta apenas por um comprimento de onda, e sim comprimentos de onda que variam em faixa entre 400 e 730 nm, o que confere a nós a percepção das diferentes cores relativas a cada comprimento de onda (HEWITT, 2002).

Os outros tipos de ondas eletromagnéticas apresentadas não podem ser vistos diretamente pelo olho humano, mas podem ser detectados com dispositivos apropriados (LEITE; PRADO, 2012). Por exemplo, a radiação no infravermelho, caracterizada por comprimentos de onda entre 730 e 1.000.000 nm (PASQUINI, 2003), subdividido em três regiões I.V. próximo, médio e distante.

As microondas são radiações eletromagnéticas produzidas por sistemas eletrônicos e se estendem pela região do espectro de 0,3 até cerca de 3 GHz de frequência. Os feixes de microondas são emitidos e detectados pelos sistemas de radar. Por fim as ondas de rádio são o conjunto de energias de frequência menor que 300Ghz.

Os materiais possuem assinaturas espectrais, caracterizadas pelo espectro de absorção, obtidos quando o espectro eletromagnético atravessa uma substância ou material. Dois caminhos podem acontecer, em maior ou menor proporção: a luz pode atravessar a substância ou pode ser absorvida pela substância. A tendência é que a maior quantidade de luz seja absorvida, e o que não foi, pode ser refletida ou transmitida, caracterizando a assinatura do elemento em questão (GOETZ et al., 1985).

2.6 Reflectância

A espectrorradiometria de reflectância estuda os espectros derivados da interação da energia eletromagnética com os objetos radiantes, envolvendo comprimentos de onda no intervalo de 1 nanômetro a 1000 micras, sendo considerada energia absorvida, refletida ou transmitida (ALBA et al., 2007). É uma técnica de sensoriamento remoto que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida pelos objetos, não havendo contato físico (DALMOLIN, 2002), em função do comprimento de onda em que está sendo emitida, refletida ou espalhada por diferentes materiais (CLARK, 1999).

Com o aparato tecnológico disponível, despertou-se o interesse em obter informações precisas sobre a superfície terrestre, qual, favoreceu estudos relacionados a interação de uma grande variedade de tipos de vegetação com a radiação eletromagnética. No caso da vegetação, permitiu a obtenção de estimadores que vinculam a relação entre reflectância e atributos da mesma, como exemplo, para florestas: dados de inventário, vitalidade, índices ecológicos, ecofisiológicos e bioquímicos (NILSON et al., 2003).

A reflectância é determinada principalmente pelas diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres, fazendo com que cada alvo terrestre tenha sua própria assinatura espectral (EPIPHANIO et al., 1996).

Dados obtidos utilizando-se a reflectância de um alvo são passíveis de serem utilizados amplamente, pois fornecem informações úteis em ecologia e gerenciamento de recursos, permitindo inferências confiáveis sobre a natureza da superfície reflexiva (PALESTINA et al., 2015). Através de imagens, baseadas em reflectância, é possível avaliar as condições da vegetação de um modo rápido, a um custo operacional relativamente baixo, com boa margem de exatidão na estimativa de áreas e exclusão da necessidade de deslocamento rotineiro aos locais de estudo (ROSA, 2005).

No entanto, ainda existem incertezas sobre a relação entre a composição da vegetação em estudo e a relação direta com a reflectância, em relação aos comprimentos de onda mais adequados para representar diferenças sutis na estrutura, tipo e condição da mesma (HILL et al., 2011). Lacunas ainda persistem em relação ao efeito da variabilidade estrutural dos elementos do dossel na formação da assinatura espectral, no entanto, a compreensão da reflectância

pode fornecer informações valiosas contribuindo para estimativas mais precisas para mapeamento da estrutura da vegetação (PALESTINA et al., 2015).

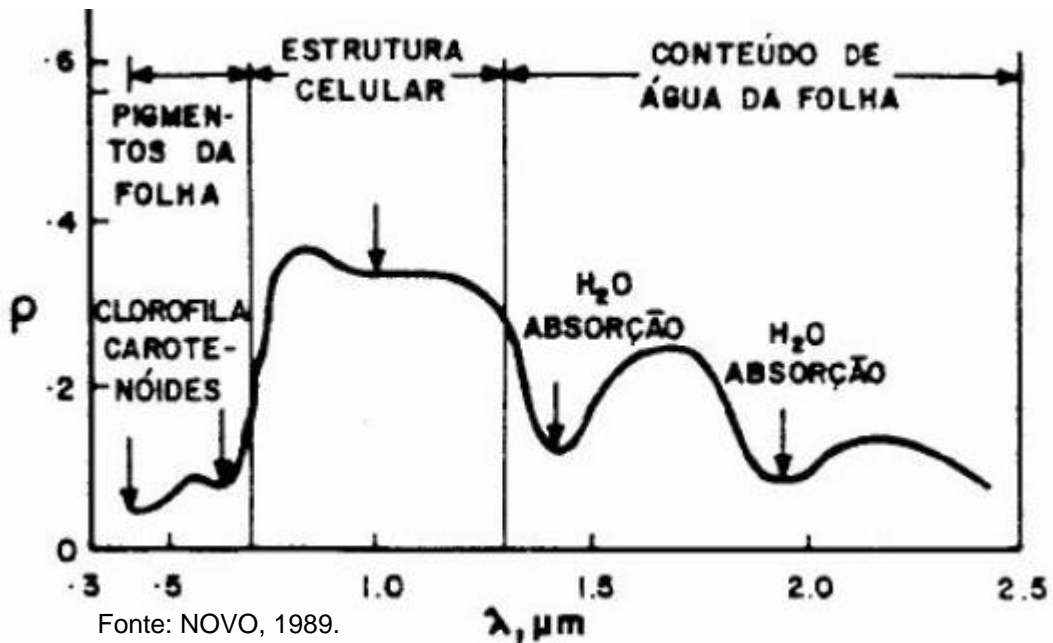
2.7 Comportamento espectral da vegetação

Estudos através de técnicas de sensoriamento remoto sobre variação do comportamento espectral de culturas agrícolas podem ser viabilizados com o uso de espectrorradiometria de campo, obtém-se medidas de reflectância da cultura a uma distância curta do dossel (2 a 5 m), com valores numéricos compreendidos em várias faixas de comprimento de onda desde o visível ao infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (SANTOS JUNIOR et al., 2002).

O pressuposto básico na detecção remota é que cada tipo de superfície interage de modo diferente com cada tipo de alvo com a radiação incidente, codificando para cada alvo uma assinatura espectral, esse comportamento gera uma curva que representa o comportamento do objeto de estudo ao longo do espectro eletromagnético (DANSON; CURRAN, 1993). A vegetação é um alvo complexo da aplicação do sensoriamento remoto. As plantas apresentam propriedades de reflexão foliar variadas, o que pode dificultar as leituras (EPIPHANIO et al., 1996).

Há evidências de que a assinatura espectral é determinada pela distribuição dos parâmetros biofísicos e bioquímicos do dossel (WANG; LI, 2013). Interações complexas existem entre as variáveis estruturais, como biomassa, idade da vegetação, densidade, altura e área foliar, a composição química das folhas e a natureza do solo (HOUBORG et al., 2009; DANSON; CURRAN, 1993).

Figura 2 - Comportamento espectral de uma folha verde.



A curva espectral típica de uma folha verde (Figura 2), possui, na região do visível (400 a 500 nm e no intervalo de 600 a 700 nm), um pico de absorção, culminando em uma área de baixa reflectância, decorrente de forte absorção dos pigmentos fotossinteticamente ativos, as clorofilas (GATES et al., 1965; THENKABAIL et al., 2000; GITELSON et al., 2002), as quais absorvem energia na região próximo a 445 nm no azul e 645 nm no vermelho (GATES et al., 1965).

Nesta porção do espectro (visível) a presença de pigmentos clorofilados é responsável pela maior absorção da radiação nos comprimentos de onda relativos ao azul e vermelho, sendo menos absorvida na porção do verde, ou seja, plantas verdes e saudáveis refletem pouca energia nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho (SANTOS JUNIOR et al., 2002).

Outra característica marcante do comportamento espectral da vegetação é a existência de uma região caracterizada pelo aumento da reflectância na região de 550 nm, no verde do espectro eletromagnético, e uma região caracterizada por alta reflectância. Nesta faixa do espectro, a reflectância varia amplamente, diminuindo com um aumento no teor de clorofila. Quando o teor de clorofila atinge seu valor máximo, as fortes bandas de absorção de clorofila no azul e no vermelho começam a absorver no verde e a reflectância da folha é reduzida em 550 nm (GATES et al., 1965).

Na região correspondente ao IVP, que ocorre entre 700 a 1300 nm, sendo que o pico de reflectância está concentrado na região dos 780 nm, associado à estrutura celular interna da folha a qual possui reflectância quase constante, sendo resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, nessa faixa a radiação é fortemente espalhada sofrendo múltiplas reflexões e transmissões ao incidir na vegetação (GATES, et al., 1965; THENKABAIL et al., 2000; MUTANGA et al., 2003). A quantidade de energia refletida pelo dossel da cultura, nos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e IVP, é significativamente correlacionada com a atividade fotossintética das plantas (CASAROLI et al., 2007).

A região do I.V e dos comprimentos de ondas curtas (SWIR 1300 A 2500 nm) são sensíveis ao estresse de déficit hídrico (EL-HENDAWY, 2017). Vários parâmetros morfofisiológicos importantes, como acumulação de matéria seca, expansão e área foliar, trocas gasosas foliares, comportamento estomático e taxa de transpiração são componentes de uma cascata de respostas das plantas ao estresse do déficit hídrico (FAROOQ, et al., 2014).

Zhang et al. (2003) observaram um índice satisfatório de precisão quanto à observação de severidade de requeima do tomateiro. Os autores relataram que esta doença foi diagnosticada pelo sensoriamento remoto hiperespectral, e que a região que melhor proporcionou o diagnóstico foi a do IVP, devido ao fato desta doença alterar a estrutura interna da folha e devastar rapidamente lavouras de tomate.

A borda do vermelho (*red edge*) compreende no espectro de absorção a região entre 680 a 750 nm. A posição do *red edge* no espectro eletromagnético refere-se ao ponto máximo de inflexão da curva espectral, obtida pela primeira derivada entre o vermelho e o IVP, que ocorre nos comprimentos de onda referidos (GUO et al., 2017). Um incremento de biomassa ou na concentração de clorofila resulta na detecção do aumento da reflectância na borda do vermelho, na região correspondente, próxima a 670 nm, fato este que proporciona o deslocamento da região do *red edge* para maiores comprimentos de onda. Deste modo, é considerado como um indicador de estresse da vegetação (DAWSON; CURRAN, 1998; MUTANGA; SKIDMORE, 2007).

E, no infravermelho distante a absorção pela água ocorre de forma marcante em comprimentos de onda superiores a 1300 nm, e mais acentuada próxima aos 2000 nm, absorvendo fracamente em comprimentos de onda mais

curtos (GATES et al., 1965). Além disso, as interações entre a luz e a água incluem dispersão, absorção e atenuação (ZENG et al., 2017).

Kokaly E Skidmore (2015), ao utilizarem a técnica do contínuo removida em amostras de folhas secas, frescas, e outras plantas, identificaram que, os fenóis possuem características de absorção próximas de 1660 nm, a celulose, o amido e a amilose, todos quimicamente semelhantes, não possuem características de absorção nesta área e mostram um pico na reflectância. Eles têm grandes características de absorção centradas perto de 1770 e 2100 nm, as características de absorção nestes compostos são fracas perto de 1700 nm. A proteína também tem um pico de reflectância perto de 1660 nm, as características de absorção da proteína são absorções fracas centradas perto de 1580 e 1690 nm, e picos absorção centrados perto de 1730, 2000 e 2170 nm. Estas características variam ligeiramente entre celulose e amido. A lignina exibe um pico de absorção centrada em 2270 nm.

2.7.1 Alterações na vegetação devido às injúrias por Pentatomidae

Xia et al. (2011) estudaram a indução de fluorescência em maçã de algodão, expostas a alimentação por percevejo (*Nezara viridula*) por 72 horas. Visualmente dentro da cápsula, na parede interna, verificaram onde ocorreu a inserção do estilete, protuberâncias amarelas-esbranquiçadas e manchas amareladas sobre a fibra e, sobre comprimentos de onda longas (UV). Esses locais apresentaram forte fluorescência no azul e no verde do espectro. Análises espectrais, utilizando espectrorradiômetro, mostraram que o pico da emissão de clorofila nesses tecidos foi em 420 nm, fortemente correlacionado a maior fluorescência do tecido danificado no azul-verde. Em tecido não danificado, o pico máximo de excitação da clorofila ocorre próximo aos 430 nm (CHAERLE, 2000). Sendo assim, a ausência aparente de clorofila (ou pelo menos sua fluorescência característica perto do local de alimentação) pode fornecer uma abordagem alternativa para a medição espectroscópica radiométrica ao tentar diferenciar rapidamente entre as cápsulas danificadas e não danificadas.

Respostas bioquímicas de duas cultivares de soja exposta durante 24, 48, 72 e 96 horas a alimentação por *E. heros*, demonstraram que a exposição ao inseto para alimentação alterou a resposta enzimática foliar (LOX3), acentuando-se com o maior período de exposição. Esta enzima é correlacionada ao processo de

defesa das plantas a ferimentos de herbívora. A enzima CAT também obteve atividade reduzida após 48 horas de exposição a injúria. O perfil de proteína foliar mudou após o período de 24 horas de alimentação, com expressão de proteínas sensíveis ao estresse, como por exemplo, CP4-EPSPS, provavelmente para minimizar o dano bioquímico causado pelas lesões (TIMBÓ et al., 2014).

O tratamento de vagens de três cultivares de soja com o ativador de plantas cis-jasmone afetou o conteúdo de isoflavonas produzidas, o desempenho de *E. heros*, foi medido pelo aumento de peso de insetos, ao se alimentarem das vagens tratadas. Nos tratamentos com o elicitador, as cultivares alteram a quantidade produzida de isoflavonóides potencialmente defensivos, no entanto apenas a cultivar resistente provocou um menor desempenho dos percevejos em relação ao ganho de peso, sendo este um fator dependente também da cultivar (Da GRAÇA et al., 2016).

Flavonóides são amplamente distribuídos na natureza e exercem diferentes funções metabólicas nas plantas, fornecendo proteção contra tensões abióticas (por exemplo, proteção a radiação UV) e estresses bióticos (patógenos, ervas daninhas e insetos), e também na facilitação da polinização (FALCONE FERREYRA et al., 2012). Na soja são predominantes flavonóis e isoflavonas, mais proeminentes em estádios vegetativos e reprodutivos (SONG et al., 2014).

Mudanças quantitativas e qualitativas na emissão de voláteis por maçãs de algodão sofrem influenciam quando são expostas a alimentação por pragas hemípteras (Pentatomidae e Coreidae), os danos de alimentação causados por percevejos resultaram em um aumento em voláteis em comparação com as cápsulas não danificadas (DEGENHARDT et al., 2011). A liberação de voláteis acíclicos de maçãs danificadas por herbívoros, sugere que esses compostos são liberados especificamente em resposta à alimentação, possivelmente devido à ativação por elicitores na saliva das espécies de hemípteros (WILLIAMS et al., 2005).

2.8 Índices de Vegetação

Utilizados para monitorar e quantificar condições e distribuições espacial da vegetação, para tanto utilizam-se combinações matemáticas das refletâncias da região eletromagnética em diferentes faixas espectrais (VILLAR, 2012), podem ser obtidos através de imagens de satélite e por equipamentos

próximos ao alvo de interesse, como o espectrorradiômetro (PONZONI & SHIMABUKURO, 2010).

Baseiam-se nas propriedades espectrais da vegetação, com foco na região do visível e do IVP e deste modo realçam o contraste espectral. Os índices, baseados no espectro IVP, são amplamente utilizados para avaliar a biomassa verde, condutância estomática e o estado da água da folha estes por sua vez estão associados as concentrações de pigmento fotossintético, estrutura da folha e estado da água da planta, podem ser usados como ferramentas rápidas e não destrutivas para monitorar o crescimento e as propriedades fotossintéticas da vegetação e que os índices calculados baseados no visível e IVP, mostram relações com crescimento e parâmetros fotossintéticos, semelhantes aos de índices baseados em IVP ou SWIR. (EL-HENDAWY et al, 2017).

Para obtenção de um índice de vegetação são utilizadas duas ou mais bandas do espectro visando minimizar a variação devido a fatores externos e maximizar a sensibilidade, exteriorizando a variabilidade de interesse (DAUGHTRY et al., 2000).

O NDVI, índice da diferença normalizada, proposto por Rouse et al. (1974) é um dos mais utilizados, sendo calculado pela diferença entre as bandas do IVP, que contempla os comprimentos de onda de 750 a 1100 nm, e o visível (400 a 700 nm). Utilizado para classificar a distribuição global da vegetação, quanto mais alto seu valor, entre -1 e 1, sendo que quanto mais alto o seu valor, pode-se inferir que a vegetação se torna mais densa (LIU, 2007).

O índice NDRE, diferença normalizada do *red edge*, foi proposto por Barnes et al. (2000), sendo derivado do NDVI. No entanto, apenas se diferencia pelo uso de bandas do espectro eletromagnético, contemplando a posição de ocorrência do *red edge* e uma banda do platô de estabilidade do IVP, variando de 750 a 1100 nm e de 700 a 750 para *red edge*. O mesmo é indiretamente conectado ao status de nitrogênio das plantas, uma vez que depende do teor de clorofila, que influencia a posição de borda vermelha (ELVIDGE E CHEN, 1995).

O índice da diferença renormalizada (RDVI) foi proposto por Roujean e Breon (1995), visando reduzir a variabilidade do solo, efeitos da orientação da folha sobre a reflectância e sobre as propriedades ópticas das folhas, derivado do NDVI.

3. ARTIGO: CURVA ESPECTRAL DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A INFESTAÇÃO POR PERCEVEJO-MARROM

3.1 Resumo

Objetivou-se analisar e construir uma curva espectral das respostas de folhas de soja submetidas à diferentes níveis de infestação do percevejo-marrom (*Euschistus heros*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em blocos casualizados. Os tratamentos consistiram em três densidades de infestação: 0, 1 e 2 percevejos por planta. O período de infestação foi de 96 horas. Foram realizadas leituras espectralradiométricas nas folhas das plantas, no primeiro e no sétimo dia após a infestação. Observou-se que o comportamento espectral possui um pico de reflectância na região do visível e um platô de estabilidade na região do IVP. Maiores valores de reflectância foram encontrados para a curva espectral e para a curva normalizada para a segunda coleta. Em ambas, houve uma sutil separação das curvas, até próximo dos 700 nm. O comprimento de onda 694 nm foi estatisticamente diferente, na curva normalizada, para a segunda leitura sendo que os tratamentos com infestação de 1 e 2 percevejos diferiram entre si e não da testemunha. O mesmo ocorreu para o índice NDVI. Na primeira derivada, o deslocamento do *red edge* ocorreu em ambas as leituras. O procedimento STEWISE selecionou três comprimentos de ondas, sendo dois na banda do azul 488 e 404 nm para a segunda coleta, e uma na borda do vermelho (688 nm), para a primeira coleta. Equações discriminantes foram criadas (DISCRIM), verificando-se que, ao serem substituídas nelas as observações que apresentaram classificação correta acima de 65% foi o tratamento com 2 percevejos e a testemunha, para a primeira e segunda coleta respectivamente.

Palavras chave: *Euschistus heros*. Fitofágos. Contínuo removido.

3.2 Abstract

The objective of this study was to analyze and construct a spectral curve of the responses of soybean leaves in response to different levels of infestation of neotropical brown stink bug (*Euschistus heros*). The experiment was conducted in a greenhouse in randomized blocks. The treatments consisted of three infestation densities: 0, 1 and 2 *E. heros* per plant. The period of infestation was 96 hours. Spectroradiometric readings were performed on plant leaves on the first and seventh day after infestation. It was observed that the spectral behavior has a reflectance peak in the visible region and a stability plateau in the IVP region. Higher reflectance values were found for the spectral curve and for the normalized curve for the second sample. In both, there was a subtle separation of the curves, until near the 700 nm. The wavelength 694 nm was statistically different, in the normalized curve, for the second reading and the treatments with infestation of 1 and 2 bedbugs differed between themselves and not of the control. The same occurred for the NDVI index. In the first derivative, the red edge offset occurred in both readings. The STEWISE procedure selected three wavelengths, two in the band of blue 488 and 404 nm for the reading performed seven days after the infestation, and one on the edge of red (688 nm) for the first read. Discriminant equations were created (DISCRIM), verifying that, when the observations were substituted that presented correct classification above 65%, for the treatment with 2 neotropical brown stink bug and the control, for the first and second collection, respectively.

Keywords: *Euschistus heros*. Phytophagous. Continuous removed.

3.3 Introdução

O percevejo-marrom (*Euschistus heros*: Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae), que até a década de 70 era uma espécie rara, atualmente é a mais abundante nos cultivos de soja no Brasil. Ele vem causando graves danos e exige um uso intensivo de inseticidas a cada ano (Da GRAÇA et al., 2016). Portanto, as áreas devem ser efetivamente monitoradas e as medidas de controle devem ser implementadas, quando detectados, para evitar o seu estabelecimento e crescimento populacional (SALUSO et al., 2011).

Possuem distribuição ampla dentro da área cultivada, dificultando a realização de um plano sequencial de amostragem, em áreas extensas de cultivo (SOUZA et al., 2013). O desafio para seu controle químico é agravado devido ao aumento da sua tolerância a inseticidas, relacionado ao uso indiscriminado de produtos e a falta de rotatividade entre as moléculas aplicadas (SOSA-GÓMEZ; SILVA, 2010; SOSA-GÓMEZ, 2009).

O desenvolvimento de métodos práticos e precisos de monitoramento de percevejos pode contribuir significativamente para o adequado manejo dessa praga, proteção da lavoura do seu ataque, uso racional de inseticidas com conseqüente redução do risco de desenvolvimento de insetos resistentes a inseticidas (Da GRAÇA, 2016), menor contaminação ambiental e redução dos custos de produção.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para identificar e mapear áreas infestadas pode ser instrumento viável no manejo (SANTOS JUNIOR et al., 2002). Todas as plantas emitem e refletem radiação eletromagnética, o que permite a captura por sensores especiais sensíveis a determinados comprimentos de onda.

Estudos embasados em análises espectrais, obtidos com o uso de espectrorradiômetro, via radiação refletida permitem obter um diagnóstico mais preciso condições da vegetação, tornando o monitoramento mais fácil de ser utilizado em larga escala (BOECHAT et al., 2014). Lacunas ainda persistem em relação ao efeito da variabilidade estrutural dos elementos do dossel na formação da assinatura espectral. No entanto, a compreensão da reflectância pode fornecer informações valiosas contribuindo para estimativas mais precisas para mapeamento da vegetação (PALESTINA et al., 2015).

Santos Junior et al. (2002) obtiveram sucesso ao utilizar espectrorradiômetro portátil em soja na detecção de fitonematóides. As plantas, ou amostras situadas em pontos de menor densidade populacional de nematoides, apresentaram tendência de aumento nos valores do fator de reflectância (energia refletida) na região do IVP, em função da maior quantidade de biomassa, em resposta ao menor ataque dos nematoides.

A avaliação sobre a severidade de mofo branco em feijoeiro, utilizando-se de características espectrais, evidenciou que na faixa do visível, a vegetação apresentou picos de aumento da reflectância no comprimento de onda próximo de 550 nm. Os maiores valores de reflectância foram registrados acima dos 700 nm. O tratamento sem fungicida apresentou a maior curva espectral, no decorrer de todo período avaliado. Observou-se ainda forte correlação na curva espectral de acordo com a fase de desenvolvimento, sendo as diferenças menos acentuadas nas fases iniciais, devido ao menor teor de clorofila. No entanto, com o processo de maturação, houve aumento na reflectância do vermelho e a redução na reflectância do IVP, alterando a resposta espectral do dossel (BOECHAT et al. 2014).

Devido à importância do percevejo *E. heros* para a soja, que é uma das principais commodities brasileiras, a adoção de novas tecnologias e métodos mais eficientes para o manejo se tornam estratégias de grande interesse a toda cadeia produtiva da cultura. Neste contexto foi desenvolvido um estudo com objetivo de analisar e construir uma curva espectral das reações de folhas de soja em resposta à diferentes níveis de infestação do percevejo-marrom (*Euschistus heros*).

3.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Embrapa Soja, Londrina, PR.

Foi utilizado delineamento experimental de blocos ao acaso, com nove repetições. Foram estudadas três densidades populacionais de percevejo-marrom, *Euschistus heros* (Fabricius, 1798), sendo: zero (tratamento A), um (tratamento B) e dois (tratamento C) percevejos/planta. As populações foram determinadas pelo nível de ação atualizado e adotado no MIP-soja, ou seja, um

percevejo/m para lavouras que produzem sementes e dois percevejos/m para lavouras comerciais de grãos (CORRÊA-FERREIRA; PANIZZI, 1999).

A soja foi semeada em vasos, cultivar BRS 1001 IPRO®. Cada vaso continha uma planta de soja. As plantas de soja foram infestadas por *E. heros* assim que surgiram as primeiras flores, no estágio R.1. Previamente a infestação, cada planta de soja foi protegida individualmente por uma gaiola telada de 1,3 m de altura e 15 cm de diâmetro, tendo a base presa a haste da soja ao nível do solo. Para a infestação foram utilizados percevejos provenientes de criação massal, sob dieta artificial, em condições controladas. O período de infestação foi de 96 horas.

Após o período de infestação foram coletadas folhas das plantas (uma folha por planta) e levadas para o laboratório para análise em espectrorradiômetro. De cada planta foi coletado o folíolo central da última folha completamente expandida e com coloração verde estabilizada, localizada no topo do dossel da planta. A coleta foi realizada em um bloco por vez. As folhas foram condicionadas em sacos plásticos e mantidas em caixa de isopor, com gelo, até ser realizada a leitura, que ocorreu em menos de 20 minutos após a coleta. No folíolo coletado, a leitura foi realizada no limbo foliar, no espaço entre a primeira e segunda nervura basal. Foram realizadas leituras em duas datas, ou seja, um dia e sete dias após o fim da infestação das plantas pelo percevejo *E. heros*.

O espectrorradiômetro utilizado foi o modelo LI-1800 LI COR, portátil, programado para realizar leituras nos comprimentos de onda de 300 a 1100 nanômetros (nm), com resolução de 2 nm. Trata-se de um equipamento óptico-eletrônico utilizado para medir radiâncias, em um conjunto de bandas espectrais sucessivas e estreitas, podendo ser realizadas leituras da luz solar ou leituras da reflectância de plantas (resposta espectral de folhas) (LI-COR, 1990). As leituras são baseadas na resposta espectral das folhas, ou seja, em medidas de reflectância. Para obter estes valores o equipamento possui uma esfera integradora interligada a ele por um cabo de fibra ótica. Para as leituras de reflectância utiliza-se uma fonte de luz artificial (simulando a luz solar) e, como referência de reflectância, utiliza-se uma placa de sulfato de bário. A coleta dos dados seguiu um esquema de leitura pré-estabelecido, a fim de explorar as diferentes opções de posição de luz e permitir o cálculo da variável reflectância.

Para a construção da curva espectral utilizou-se a seguinte fórmula para cálculo da reflectância (R_s):

$$R_s: \frac{I_s}{I_r} \quad (1)$$

Onde I_s é a leitura de saída da esfera integradora na amostra iluminada e I_r é a leitura obtida no momento em que o material de referência de refletância (placa de sulfato de bário) é iluminada (Li-COR, 1990).

Com os valores de refletância calculados, para cada tratamento, os dados de comprimento de onda, foram submetidos a análise estatística exploratória e, atendendo ao pressuposto da análise de distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) foram submetidos ao teste de medias de Tukey a 5% de significância para diferenças de tratamento (APÊNDICE A).

Os dados de refletância média, para cada tratamento, foram obtidos por rotinas alimentados no programa R® (R CORE TEAM, 2016), com o objetivo de criar a curva do comportamento espectral dos tratamentos, ao longo dos comprimentos de onda. Uma biblioteca espectral para criação das imagens foi criada no programa ENVI 5.3 SulSoft®.

No referido programa, ao longo de todo o espectro medido pelo aparelho (300 a 1100 nm), foi possível diagnosticar que o espectrorradiômetro estava susceptível às interferências ao longo das leituras, conhecidas como ruídos, que causaram distorção ao longo dos comprimentos de onda. De outra forma, não seria possível estabelecer diferenças entre ruído e informação espectral, sem o realce das bandas de importância.

Neste caso, para correção, foi necessário aplicar o corte dos comprimentos de onda, iniciando-se aos 400 nm até 1000 nm. Deste modo, com a curva espectral mais curta, e, verificando-se as flutuações irregulares de natureza aleatória que caracterizam o ruído, foi possível suavizar discretamente as pequenas irregularidades do sinal, calculando-se a média dos valores amostrados adjacentes, sendo o filtro média móvel (movav) aplicado a cada 3 valores de refletância ao longo de toda a curva espectral.

O filtro médio móvel é linear e discreto e opera em sinais amostrados. Este filtro restaura sinais distorcidos e separa sinais combinados (reduz ruídos), sendo aplicado quando a redução do mesmo na banda não é crítico (CERQUEIRA et al., 2000). A grande vantagem de se colocar o filtro média móvel é que ele vai ter uma tendência a diminuir as oscilações, ou seja, ele vai "suavisando"

a curva do sinal de maneira satisfatória, restaurando sinais distorcidos (ALMEIDA, 1997).

Para um melhor delineamento das feições de absorção, e identificação das diferenças nas curvas espectrais, que são muito sutis, foi necessário verificar o deslocamento da curva espectral. Esses deslocamentos são conhecidos como '*shift* do *red edge*', que é originado da primeira derivada da reflectância. Tal procedimento tem como objetivo reduzir o ruído nos espectros e realçar os sinais fracos, melhorando os sinais de absorção que podem estar mascarados (RINNAN et al., 2009). Na primeira derivada do espectro, obtida a partir da curva espectral normalizada, os valores máximos, referentes ao pico do deslocamento do *red edge* foram obtidos pelo programa R[®]. Estes valores representam especificamente se houve algum deslocamento do pico de inflexão máximo em cada tratamento estudado.

Para normalização da curva espectral foi aplicado a remoção do contínuo, na biblioteca espectral já concebida, no programa ENVI 5.3 SulSoft[®]. Esse método consiste no estabelecimento de uma reta (função polinomial de 1º grau, onde $y = ax + b$) entre os valores de reflectância em cada comprimento de onda. Dessa maneira, ressaltam-se os centros das feições de absorção, mediante a eliminação de valores redundantes nos demais comprimentos de onda, em relação ao material que se deseja destacar (CLARK; ROUSH, 1984; CLARK, 1999). Os dados normalizados foram submetidos a análise de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e ao teste de médias Tukey a 5% de significância. Os box plots foram criados com os dados normalizados sendo utilizados os comprimentos de onda máximos do ponto de inflexão da primeira derivada, sendo para ambas as leituras os comprimentos de onda 704 e 706 nm, submetidos ao teste de Tukey com 6 repetições para a eliminação de outliers.

Os seguintes índices de vegetação foram calculados: NDVI, RDVI, e NDRE. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR[®] (FERREIRA, 1998).

Para o cálculo dos índices, as seguintes equações foram utilizadas:

$$\text{NDVI: } \frac{\text{IVP} - \text{RED}}{\text{IVP} + \text{RED}} \quad (2)$$

$$\text{RDVI: } \frac{IVP - RED}{(\sqrt{IVP + RED})} \quad (3)$$

$$\text{NDRE: } \frac{IVP - Red\ edge}{IVP + Red\ edge} \quad (5)$$

Para o cálculo dos parâmetros IVP e RED, os comprimentos de onda utilizados foram 800 e 670 nm, respectivamente. Para o *red edge*, utilizou-se o comprimento de onda de 710 nm, cujos valores de reflectância correspondentes a cada um, foram utilizados para os cálculos.

A fim de estabelecer, comprimentos de onda que inferissem informações sobre a curva espectral, foi realizada análise multivariada discriminante. Sabe-se que para a avaliação de grande número de variáveis, como por exemplo, uma assinatura espectral, a análise discriminante permite a análise de cada comprimento de onda em relação aos tratamentos avaliados (THENKABAIL et al., 2012).

Os dados foram compostos por 300 comprimentos de onda, obtidos via espectrorradiômetro LI COR 1800, com resolução de 2 nm correspondentes ao espectro eletromagnético de 400 a 1000 nm, com três tratamentos e nove repetições. Para a análise estatística discriminante dos dados, foi utilizado o programa SAS Institute® (2001), ao nível de 10% de significância.

O primeiro passo para a análise discriminante foi estabelecer as variáveis preditoras, utilizando-se o procedimento STEPWISE do sistema SAS.

Com as variáveis preditoras, estabelecidas para a diferenciação e caracterização dos tratamentos de população de percevejos, foi realizada análise discriminante, com o objetivo de desenvolver um modelo para discriminação de diferentes populações de percevejos em plantas de soja, a partir dos dados espectrais. Para tanto, foi utilizado a função DISCRIM, visando a obtenção de coeficientes das equações discriminantes (NANNI et al., 2004; FIORO et al., 2010).

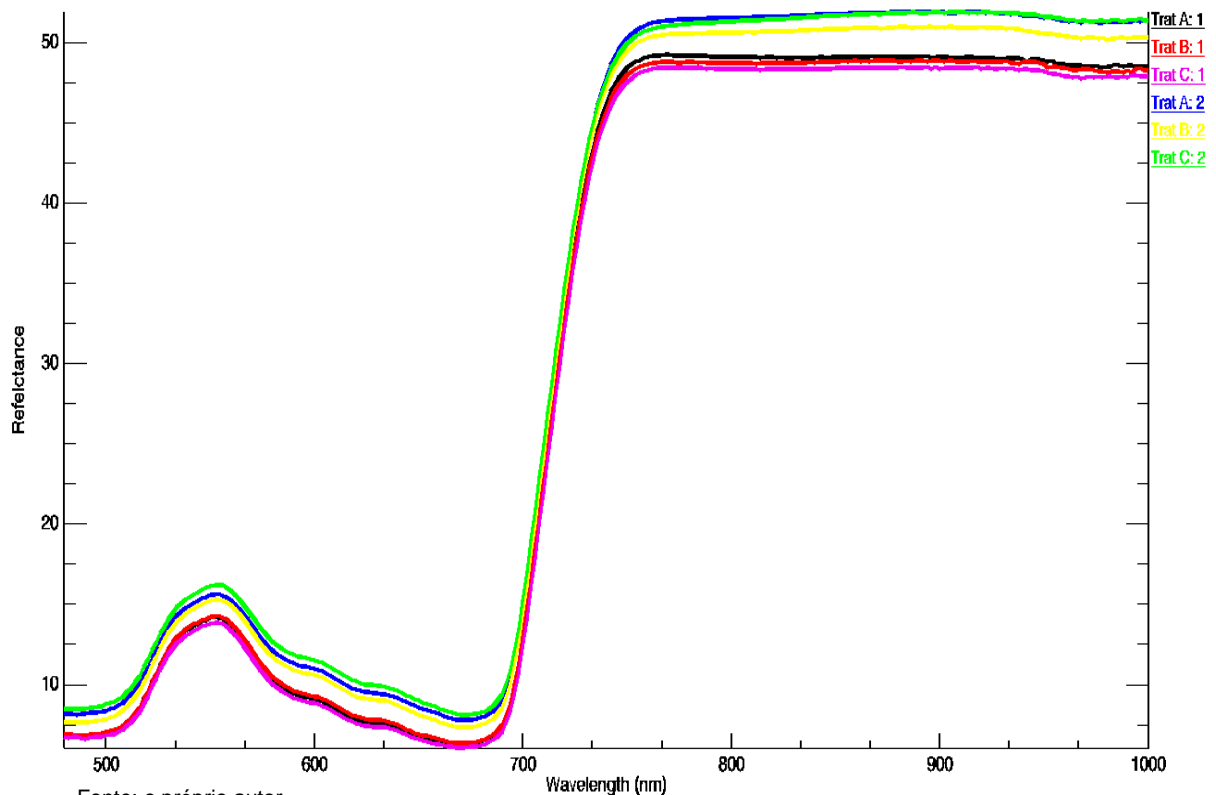
3.5 Resultados e Discussão

O comportamento espectrorradiométrico das folhas (Figura 3.1) apresentou na região do visível (480 a 500 nm e 600 a 680 nm), uma região de baixa reflectância, caracterizada, conseqüentemente, por maior absorção de radiação. Isto pode ser decorrente de um pico de absorção nestas regiões, os quais

estão relacionados aos locais correspondentes a absorção de pigmentos fotossintetizantes das plantas (GATES et al., 1965), absorção pelos pigmentos fotossinteticamente ativos, as clorofilas, xantofilas e carotenóides (THENKABAIL et al., 2000; GITELSON et al., 2002), as quais absorvem maior quantidade de energia na região próximo a 445 nm no azul e 645 nm no vermelho (GATES et al., 1965), sendo que os pigmentos predominantes encontrados estão nos cloroplastos. Nessa região, na primeira leitura realizada a reflectância das folhas foi idêntica entre os diferentes níveis de infestação por percevejos, indicando que ausência de resposta ao ataque da praga. No entanto, na leitura realizada sete dias após a retirada dos insetos das plantas foi observada maior reflectância na faixa de aproximadamente 480 a 680 nm, para o tratamento com dois percevejos por planta de soja. Uma faixa intermediária, localizada na porção verde do espectro eletromagnético, próximo aos 550 nm, é caracterizada por alta reflectância, característico da não absorção da radiação, pelos pigmentos envolvidos na cadeia fotossintética. Essa porção visível do espectro é a mais sensível a sofrer alteração de reflexão ou absorção de luz, concentrando nas bandas do azul, verde e vermelho (THENKABAIL et al., 2000).

Estudo com 3 cultivares de trigo, em diferentes taxas de irrigação, as plantas analisadas com menor teor de água, demonstraram alterações no comportamento espectral, particularmente na região do visível (400-700nm), que está relacionado ao teor de clorofila da folha, e, no IVP (700-1300 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR, 1300-2500 nm), nos quais a magnitude da reflectância está relacionada às discontinuidades estruturais encontrada nas folhas e as características de absorção de água e outros compostos (EL-HENDAWY, 2017). Na região do vermelho (670 nm), apenas uma pequena porção da energia incidente sobre as folhas é refletida, uma vez que grande parte tende a ser absorvida pelos pigmentos, para ser utilizada na fotossíntese. Sabe-se que plantas com menor infecção por nematóides, têm maior capacidade de absorção da energia incidente e, conseqüentemente, refletem menos no comprimento de onda centrado em 670 nm (vermelho). Na região do IVP (a partir de 760 nm), grande parte da energia incidente passa a ser refletida, resultado da estrutura interna e número de camadas de folhas (SANTOS JUNIOR et al., 2002).

Figura 3.1 - Reflectância de folhas de plantas de soja, submetidas a diferentes infestações por percevejo-marrom.



Fonte: o próprio autor

Trat A: plantas não infestadas com percevejo (testemunha), Trat B: infestação com 1 percevejo por planta, Trat C: infestação com 2 percevejos por planta. Os números correspondem, 1: a leitura realizada um dia após a retirada dos percevejos das plantas e 2: a leitura realizada sete dias após a retirada.

Quanto à região do IVP (700 a 1000 nm) existe um platô de estabilidade caracterizado por alta reflectância. Foi observado pico de reflectância na região dos 780 nm, o que segundo THENKABAIL et al. (2000) e MUTANGA et al. (2003) está associado à estrutura celular interna da folha. Nessa região, em ambas as datas de leitura, a reflectância foi maior nas plantas sem ataque de percevejos. A energia que é refletida em forma de reflectância pelo dossel, nos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e IVP, é correlacionada com a atividade fotossintética delas (CASAROLI et al., 2007).

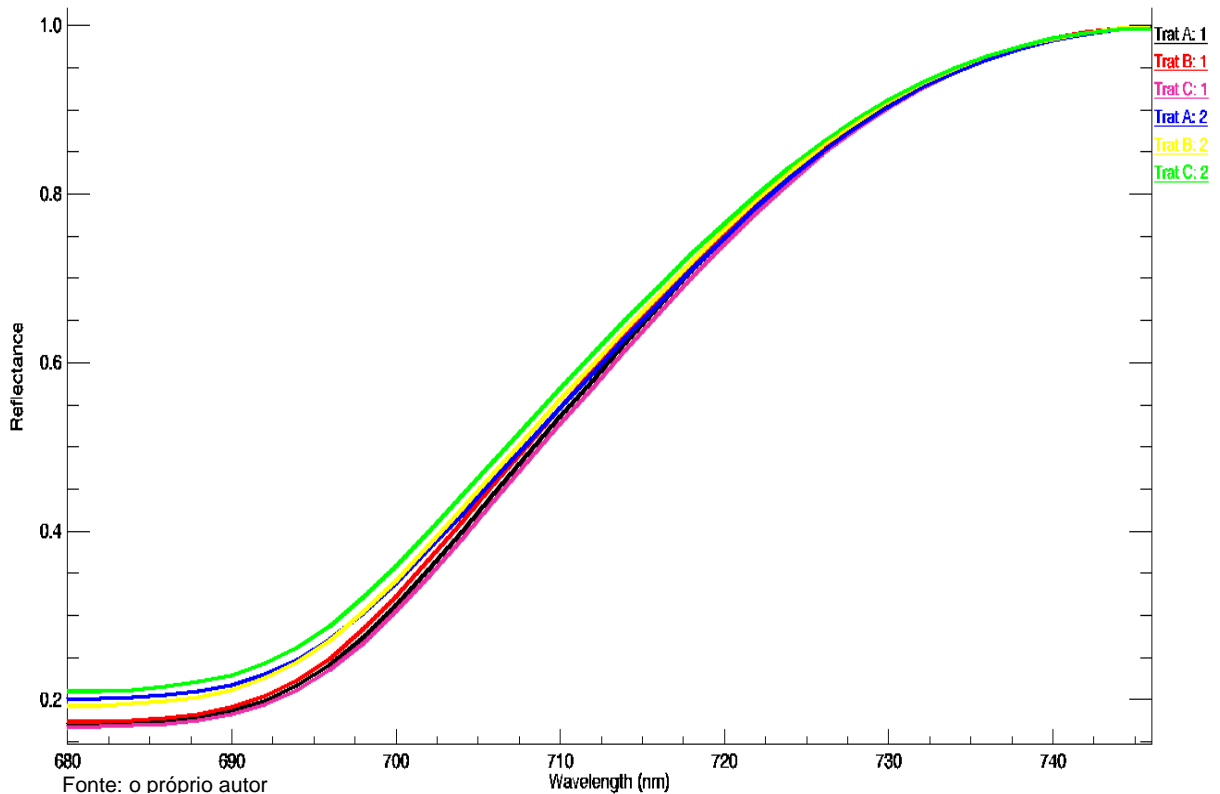
A análise da curva espectral indica maior reflectância para as leituras realizadas sete dias após a retirada dos percevejos das plantas de soja. Isso pode estar relacionado a condições particulares de cada data de leitura, como a variação da idade das folhas. A curva espectral, em soja, e três estágios de crescimentos V6, R5 e R5.5, apresentaram o mesmo comportamento ao longo dos

comprimentos de onda 450 e 900 nm. No entanto, com picos de reflectância diferentes no verde e no IVP, com o passar dos estágios fenológicos, as plantas mais velhas apresentaram maior valor de reflectância nestas regiões, o que pode representar uma tendência de decréscimo no teor de clorofila (KUIAWSKI et al., 2017).

Suavizando a curva espectral, a normalização da mesma, permitiu observar que os maiores valores de reflectância foram registrados para a leitura realizada aos sete dias após a retirada dos insetos (Figura 3.2). O tratamento C, com infestação de dois percevejos por planta, obteve a curva normalizada, com maiores valores de reflectância, acompanhada dos demais tratamentos para a mesma coleta de dados. Para a leitura de um dia após a retirada dos insetos, não houve uma resposta clara, sendo um indicativo de que o tempo de exposição das plantas aos percevejos pode ter sido relativamente curto, não realçando uma resposta da injúria no momento da retirada.

Entre as duas coletas, houve uma sutil separação das curvas, até próximo dos 700 nm. No teste de médias detectou-se diferença significativa apenas para um comprimento de onda relativo a coleta realizada sete dias após a retirada dos insetos, sendo 694 (p-valor= 0,0355). O tratamento de um percevejo por planta (0,224) diferiu do tratamento com dois percevejos (0,210). No entanto ambos não diferiram da testemunha (0,218).

Figura 3.2 - Feição de absorção de radiação, normalizada com contínuo removido, em folhas de plantas de soja submetidas a infestação por percevejo-marrom.



Trat A: plantas não infestadas com percevejo (testemunha), Trat B: infestação com 1 percevejo por planta, Trat C: infestação com 2 percevejos por planta. Os números correspondem, 1: a leitura realizada um dia após a retirada dos percevejos das plantas e 2: a leitura realizada sete dias após a retirada.

Mutanga et al. (2007 e 2003), com o uso do contínuo removido, em doses crescentes de nitrogênio em pastagem (*Cenchrus ciliaries*), observaram que a reflectância é maior na região do Infravermelho (600 a 750 nm), em plantas com menor conteúdo de clorofila. Em função do não tratamento com nitrogênio, ela aumenta proporcionalmente o aumento do teor de clorofila, com conseqüente menor reflectância nesta região. Isto corrobora com estudos relacionados às taxas variáveis de irrigação em trigo, que demonstraram que quanto mais seco o dossel, ou seja, mais estressado, maiores os valores de reflectância ao longo de todo espectro, do visível ao SWIR (EL-HENDAWY, 2017).

Na Tabela 3.1 estão apresentados os valores dos índices de vegetação de cada tratamento, respectivos a cada data de coleta de dados. Dos três índices analisados o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizado) foi o que apresentou sensibilidade a variação espectral de plantas de soja submetidas a

diferentes infestações por percevejo-marrom. Houve diferença significativa para a leitura realizada sete dias após a retirada dos percevejos, sendo que o tratamento com um percevejo por planta, B, foi superior ao tratamento com infestação de dois percevejos, C. No entanto, não ambos não diferiram da testemunha. Os índices da diferença renormalizado (RDVI), e índice da diferença normalizada *red edge* (NDRE) não foram afetados pela infestação diferencial das plantas de soja por percevejos, apesar de serem índices baseados no IVP e no visível são amplamente utilizados em trabalhos cujos dados são obtidos por sensores imageadores, sendo de caráter exploratório e por isso a resposta dos mesmos não foi significativa.

Tabela 3.1- Índices de vegetação da curva espectral de folhas de soja submetidas a diferentes infestações por percevejo-marrom.

Níveis de infestação	Índices ¹		
	NDVI	RDVI	NDRE
Coleta 1: um dia após o período de infestação			
Sem percevejos	0,77	5,76	0,37
1 percevejo/planta	0,77	5,71	0,36
2 percevejos/planta	0,78	5,74	0,38
p-valor	0,30 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	1,02	2,13	5,49
Coleta 2: sete dias após o período de infestação			
Sem percevejos	0,74 ab	5,68	0,36
1 percevejo/planta	0,75 a	5,69	0,36
2 percevejos/planta	0,73 b	5,60	0,35
p-valor	0,05*	0,40 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Coeficiente de Variação (%)	2,41	2,65	3,45

Fonte: o próprio autor

¹Índices de vegetação calculados após obtenção da curva espectral de plantas de soja realizado com espectrorradiômetro: NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, RDVI - Índice de Vegetação da Diferença Renormalizada, e NDRE - Índice de Diferença Normalizada do *Red edge*. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de

Os índices possuem ampla utilização para monitoramento de vegetação, através de dados espectrais, obtendo-se mapas de variabilidade espaciais a campo. El-Hendawy et al, (2017) ao utilizar, diferentes índices de vegetação em coletas com espectrorradiômetro portátil em condições de campo, sendo que o NDVI, é o índice mais utilizado apresenta variação na resposta sobre a vegetação mais densa, com maior disponibilidade de equipamentos para uso á campo. Os índices, baseados no espectro IVP, são amplamente utilizados para avaliar a biomassa verde, condutância estomática e o estado da água da folha.

Estes associados as concentrações de pigmento fotossintético, estrutura da folha e estado da água da planta, podem ser usados como ferramentas rápidas e não destrutivas para monitorar o crescimento e as propriedades fotossintéticas da vegetação

Índices de vegetação, que utilizam as bandas do vermelho e do IVP, foram utilizados para diferenciação de zonas de manejo em soja, sendo possível a delimitação de duas zonas pela combinação dos índices de vegetação, calculados em diferentes estágios da cultura, mapas de produtividade e das variabilidades locais do experimento (KUIAWSKI et al., 2017).

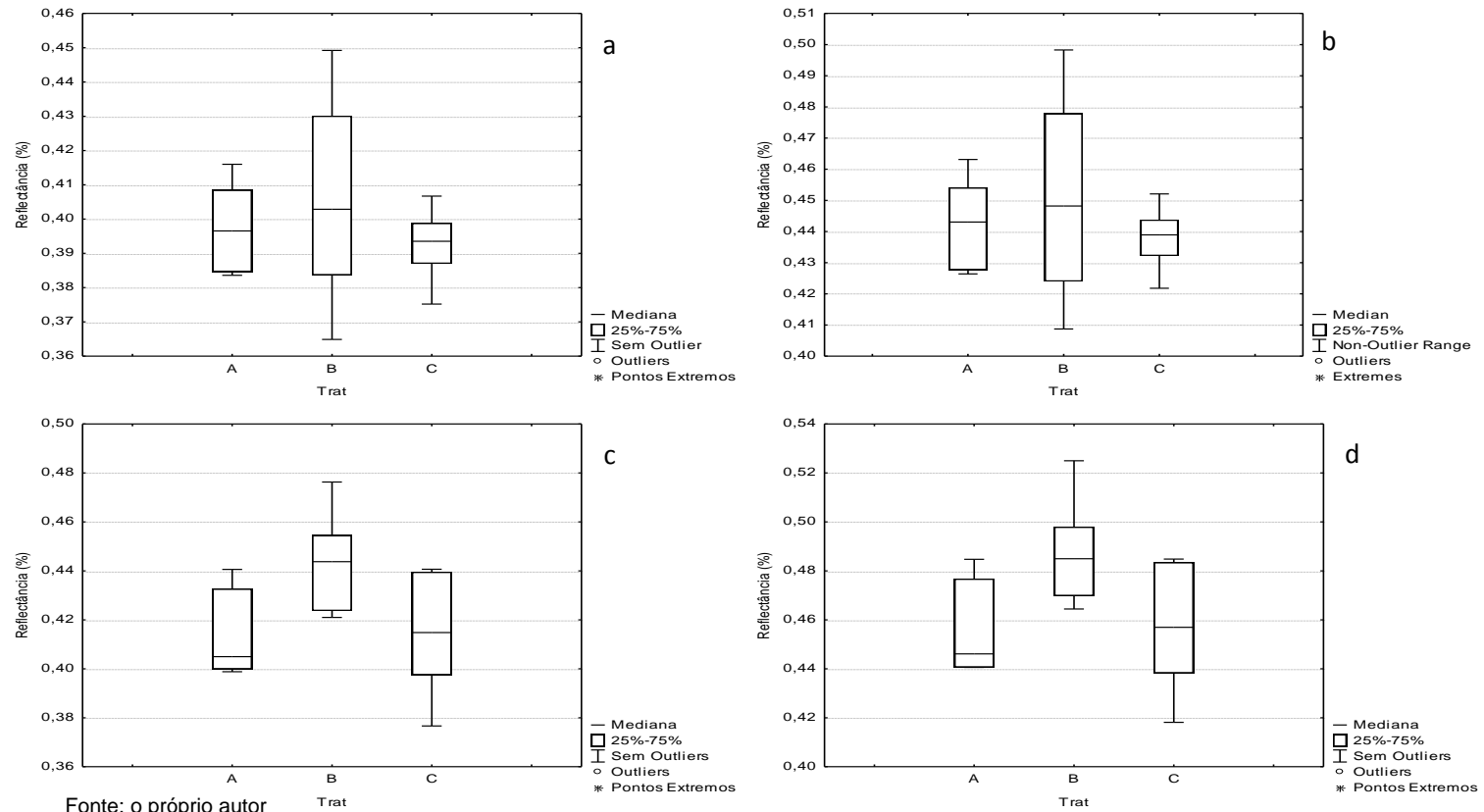
No entanto, ainda existe uma falta de consenso em relação a quais os comprimentos de onda do espectro são mais eficazes e devem ser incorporados em índices de reflectância espectral para detectar mudanças em diferentes parâmetros morfofisiológicos (EL-HENDAWY, 2017).

O aumento da reflectância espectral na região do visível resulta no “*shift do red edge*”. O *red edge* é uma região da curva de reflectância da vegetação, representada pelo aumento abrupto da reflectância, no intervalo espectral entre 680 nm a 760 nm, localizado na borda do vermelho (THENKABAIL et al., 2000).

A primeira derivada dos espectros de reflectância foi criada dentro dos comprimentos de onda de 680 a 740 nm, para verificar o deslocamento dos comprimentos de onda e identificar a posição exata do *red edge*. O *blue-shift do red edge* foi detectado, uma vez que a posição do ponto de inflexão do gráfico da primeira derivada, relacionada a leitura do espectrorradiômetro, realizada sete dias após a retirada dos insetos, se deslocou para valores menores ao obtidos pela testemunha, indo em direção ao espectro eletromagnético, correspondente ao azul. Para a primeira leitura, o *blue shift do red edge* manifestou-se apenas para o tratamento com infestação de um percevejo por planta.

Os box plots (figura 3.3) mostram as médias dos tratamentos em relação a reflectância nos comprimentos de onda máximos, obtidos pela primeira derivada dos espectros (*shift red edge*). Os resultados da análise de variância (ANOVA) indicaram que as medias não diferiram entre si nas densidades populacionais testadas ($p > 0.005$), no entanto um incremento nas médias da primeira para a segunda leitura foi observado, corroborando com os resultados anteriores com maior reflectância para a segunda coleta de dados.

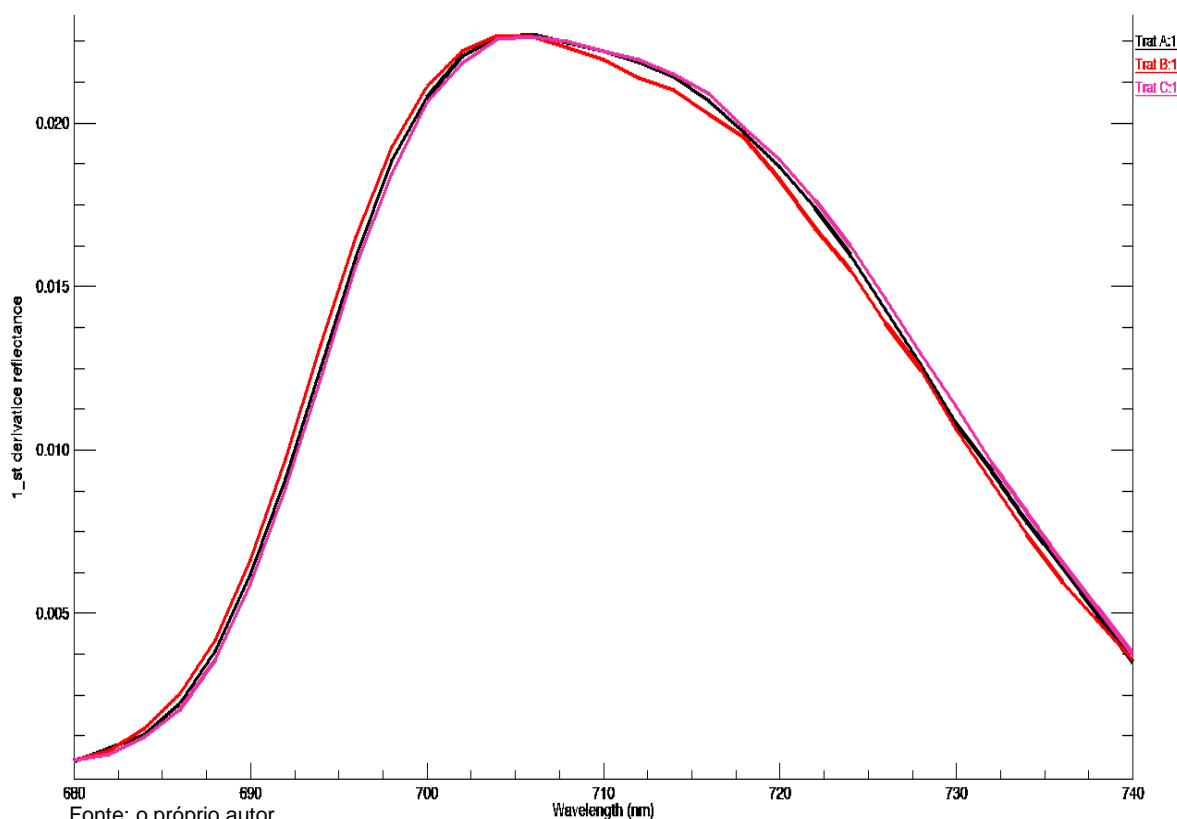
Figura 3.3 – Pontos de inflexão do *red edge*, obtidos pelo pico máximo da primeira derivada do espectro normalizado nos seus correspondentes tratamentos de infestação de percevejo-marrom.



Trat A: plantas não infestadas com percevejo (testemunha), Trat B: infestação com 1 percevejo por planta, Trat C: infestação com 2 percevejos por planta. As letras minúsculas a e b correspondem: a leitura realizada um dia após a retirada dos percevejos, nos comprimentos de onda 704 e 706 nm, respectivamente e as letras minúsculas c e d correspondem: a leitura realizada sete dias após a retirada, nos comprimentos de onda 704 e 706 nm, respectivamente.

Em relação à leitura, realizada um dia após a retirada dos percevejos, verificou-se que a resposta não foi consistente. O tratamento testemunha (A) e a infestação de dois percevejos por planta (C) atingiram o pico máximo de inflexão aos 706 nm. Já o tratamento com um percevejo por planta (B) resultou em 704 nm. O deslocamento da curva foi sutil, ora para menores valores, ora para valores correspondentes aos da testemunha, podendo estar relacionados ao tempo de exposição das plantas aos insetos e a coleta de dados com o espectrorradiômetro (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Primeira derivada, leitura realizada um dia após a retirada dos insetos, utilizando o espectrorradiômetro LI COR 1800, em plantas de soja.



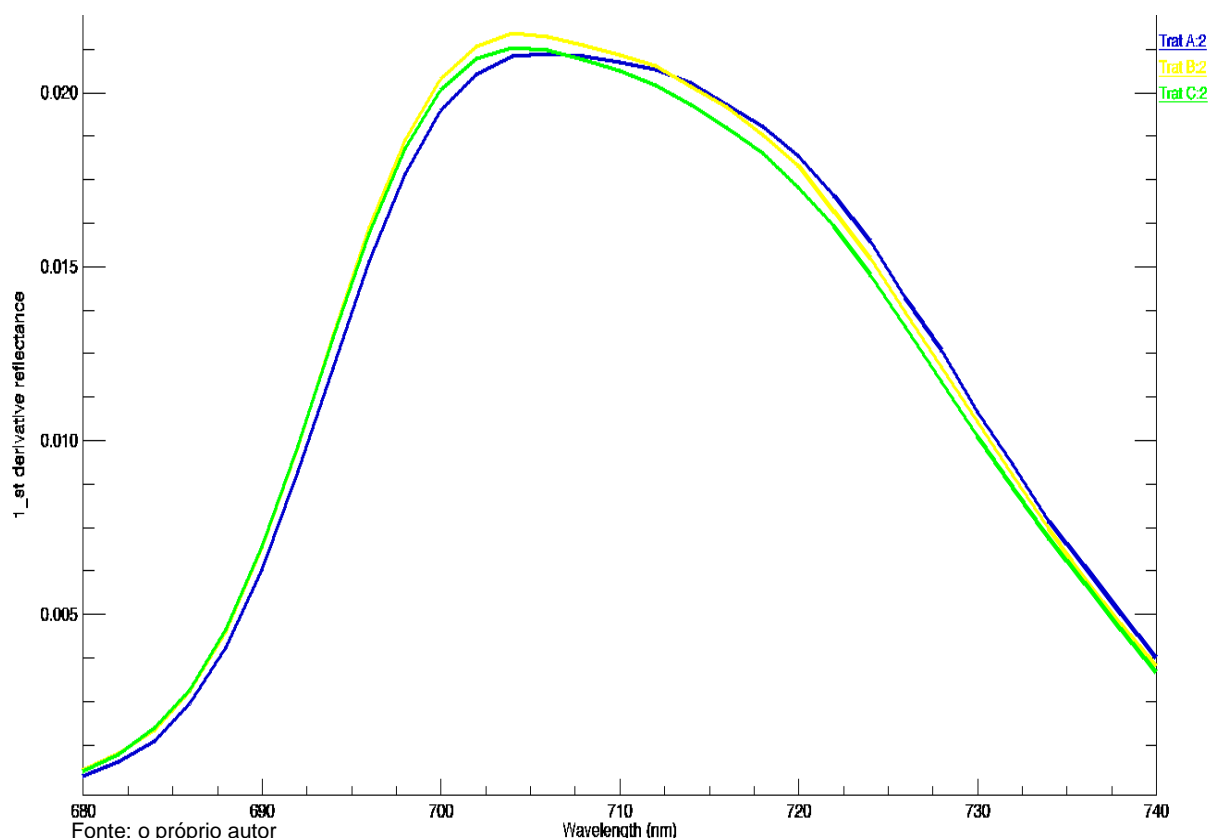
Trat A: plantas não infestadas com percevejo (testemunha), Trat B: infestação com 1 percevejo por planta, Trat C: infestação com 2 percevejos por planta.

Sete dias após a retirada dos insetos, observa-se que o deslocamento das curvas foi para menores comprimentos de onda, sendo que na testemunha (A) o ponto de inflexão foi aos 706 nm, mantendo-se igual a coleta anterior. Nos tratamentos com um e dois percevejos, o deslocamento foi para 704 nm, demonstrando que a leitura mais tardia do espectrorradiômetro

pode representar uma melhor estratégia para identificar alterações ao decorrer da curva espectral (Figura 3.5).

Conforme a espécie vegetal, esse deslocamento pode ocorrer tanto para menores comprimentos de onda (*blue shift*), ocorrendo deslocamento para a borda do azul, como para maiores comprimentos de onda (*red shift*), com deslocamentos para a borda do vermelho, no espectro de absorção. Valores médios da primeira derivada, em folhas de bordo-açucareiro (*Acer saccharum*), demonstraram que quando o nível de clorofila das folhas decaí, ocorre *blue shift* das curvas espectrais no *red edge*, na região de 500 a 800nm (VOGELMANN et al., 1993).

Figura 3.5 - Primeira derivada, leitura realizada sete após a retirada dos insetos, utilizando o espectrorradiômetro LI COR 1800, em plantas de soja.



Trat A: plantas não infestadas com percevejo (testemunha), Trat B: infestação com 1 percevejo por planta, Trat C: infestação com 2 percevejos por planta.

Gitelson et al. (1996) estudaram a posição do *red edge* em folhas de castanhas e correlacionaram a posição com a concentração de clorofila. Eles identificaram, nas folhas, 4 picos no espectro da primeira

derivada, entre 685-705, na região próxima a 710, 720 e 740 nm. Na região próxima aos 710 nm, com o decréscimo de clorofila, o *red edge* cai para 708 nm, formando um aspecto de “ombro”. Porém, conforme o teor de clorofila aumenta, o deslocamento da curva segue o mesmo padrão.

As curvas de reflectância de folhas da gramínea (*Cenchrus ciliates*), mudaram sua feição para maiores comprimentos de onda, com incremento de nitrogênio. No tratamento sem nitrogênio, a inflexão da curva ocorreu em 703 nm. No tratamento com a dose mais alta, este passou a ser em 725 nm e, o tratamento intermediário, com baixa dose de nitrogênio, apresentou dois pontos de inflexão, que são 705 e 720 nm, percebendo-se entre eles um platô de estabilidade. Foi possível deslocar a curva para o vermelho do espectro (*red shift*), com o conseqüente aumento na suplementação de nitrogênio nessas plantas (MUTANGA; SKIDMORE, 2007).

Alterações na concentração de clorofila na folha, e nos seus componentes, que provocam deslocamentos na curva espectral, podem ser indicativos de estresses fisiológicos, senescência ou até mesmo conseqüência do desenvolvimento foliar (BLACKBURN & FERWERDA, 2008).

O monitoramento do índice de área foliar, que é um importante parâmetro de respostas biofísica das plantas, permite validar uma forte correlação nos comprimentos de onda de 674 nm com a região de absorção máxima de clorofila e aos 712 nm, região do *red edge*, região fortemente ligada ao status fisiológico das plantas (DELEGIDO et al., 2013).

As variáveis selecionadas no procedimento STEPWISE encontram-se na borda do infravermelho (688 nm), para a leitura realizada um dia após o período de infestação dos insetos nas plantas e na banda do azul (404 e 488 nm), para a leitura realizada sete dias após a retirada dos insetos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2- Comprimentos de onda selecionados no procedimento STEPWISE análise estatística multivariada.

Comprimento de onda (nm)	P > F ¹
Coleta 1: um dia após a retirada dos insetos	
688	0.0166
Coleta 2: sete dias após a retirada dos insetos	
488	0.0886
404	0.0048

Fonte: o próprio autor ¹Nível de significância de 0.1%

As bandas do verde são sensíveis a mudanças de crescimento e desenvolvimento de plantas. As bandas relativas aos estresses correspondem as da borda do vermelho (*red edge*), entre 700 e 720 nm e a banda 740 responde sensivelmente ao teor de clorofila. As mesmas são utilizadas em estudos de índices de vegetação, altamente sensíveis ao processo de maturação das plantas (ao processo de senescência e ao amarelecimento). No azul 375, 466 e em especial 490 nm, são sensíveis ao processo de senescência e a redução do teor de carotenoides e clorofilas das folhas, devido ao fato de estarem próximas da fração de radiação fotossinteticamente ativa das plantas (THENKABAIL et al., 2012).

Após a escolha das variáveis, para ambas as coletas que comporiam o modelo, o próximo passo foi a realização da análise discriminante, por meio do procedimento DISCRIM. As equações discriminantes lineares obtidas para as densidades populacionais utilizando os dados de reflectância determinados pelo espectrorradiômetro LI COR 1800 em laboratório, estão na Tabela 3.3.

Tabela 3.3- Equações discriminantes lineares obtidas para os tratamentos com populações variadas de percevejo em soja, com dados espectrais obtidos via espectrorradiômetro.

Coleta 1: um dia após a retirada dos insetos	
Tratamento A – plantas não infestadas	$Y_a = -362,49002 + \lambda 688 * 103,34304$
Tratamento B – infestação com um percevejo/planta	$Y_b = -370,03433 + \lambda 688 * 104,41292$
Tratamento C – infestação com dois percevejos/planta	$Y_c = -333,12831 + \lambda 688 * 99,06928$
Coleta 2: sete dias após a retirada dos insetos	
Tratamento A – plantas não infestadas	$Y_a = -115,21803 + \lambda 488 * 32,64865 - \lambda 404 * 4,93783$
Tratamento B – infestação com um percevejo/planta	$Y_b = -97,26536 + \lambda 488 * 28,30706 - \lambda 404 * 2,84474$
Tratamento C – infestação com dois percevejos/planta	$Y_c = -114,62356 + \lambda 488 * 31,61225 - \lambda 404 * 3,93213$
Fonte: o próprio autor λ corresponde ao comprimento de onda	

Segundo Fioro et al. (2010), as equações têm por objetivo nortear e otimizar os resultados de classificação, utilizando-se dados de reflectância. Deste modo, ao usarem análise discriminante em solos, pressupondo-se o conhecimento das reflectâncias, de laboratório ou orbitais, de uma determinada amostra, sem que se saiba a qual classe de solo pertença, é possível aplicá-las em todas as equações. Desta forma, a que apresentar o maior valor, terá maior probabilidade de caracterizar a qual classe de solo a amostra pertence. Dá mesma forma as equações aqui criadas podem nortear novos estudos.

Quando substituídos nas equações lineares, os maiores erros quanto às observações e seus respectivos tratamentos foram para a coleta de dados realizada, um dia após a retirada dos insetos. Os tratamentos A e B apresentaram erros de 67% sendo este mesmo valor encontrado para a infestação de dois percevejos por planta, na coleta realizada sete dias após o período de 96 horas de permanência dos insetos (tabela 3.4).

As análises discriminantes são amplamente utilizadas para distinção de classes de solo ou vegetação. A utilização de equações lineares discriminantes foram satisfatórias para diferenciar, em imagens digitais, defeitos de tabuas de eucalipto de madeira limpa (KHOURY JUNIOR et al., 2005). Bispo et al. (2009), com base em análises discriminantes, mapearam e

identificaram classes de vegetação relacionadas a formações pioneiras e de floresta. Estudo envolvendo a diferenciação de classes de vegetação, para reconstrução montanhosa, por análise discriminante, obteve taxas de acerto das amostras superiores a 88% (QUAN et al., 2012).

Tabela 3.4- Erro de classificação, em porcentagem, de cada tratamento para função discriminante linear.

Coleta 1: um dia após a retirada dos insetos				
Tratamento	A	B	C	Total ⁽¹⁾
A– plantas não infestadas	3 ⁽²⁾ 33,33 ⁽³⁾	3 33,33	3 33,33	9 66,66 ⁽⁴⁾
B– infestação com um percevejo/planta	5 55,56	3 33,33	1 11,11	9 66,66
C– infestação com dois percevejos/planta	2 22,22	1 11,11	6 66,67	9 33,33
Coleta 2: sete dias após a retirada dos insetos				
Tratamento	A	B	C	Total
A– plantas não infestadas	6 66,67	0 0,00	3 33,33	9 33,33
B– infestação com um percevejo/planta	1 11,11	5 55,56	3 33,33	9 44,44
C– infestação com dois percevejos/planta	3 33,33	3 33,33	3 33,33	9 66,66

Fonte: o próprio autor

⁽¹⁾Frequência total em que a observação entra no modelo em simulação. ⁽²⁾Frequência de acerto da observação em relação ao tratamento; ⁽³⁾Porcentagem de acerto no tratamento; ⁽⁴⁾Porcentagem de erros no tratamento.

Desta forma, para a leitura realizada um dia após a retirada dos insetos, o Tratamento C apresentou cerca de 67% de classificação correta, sendo que três amostras foram classificadas erroneamente a estas, duas ao tratamento A, sem infestação e uma confundida com o tratamento B, com um percevejo por planta. Os demais tratamentos obtiveram taxas de acerto iguais ou inferiores a 33%, configurando uma maior confusão na reclassificação dos comprimentos de onda, de acordo com o tratamento a qual pertenciam, com destaque a confusão de 5 observações, pertencentes ao tratamento com infestação de um percevejo por planta com a testemunha.

Entretanto, para a coleta de dados realizada sete dias após a retirada dos insetos o tratamento testemunha apresentou 67% de acerto. E, nenhuma das amostras foi confundida com o tratamento com um percevejo (B).

O tratamento B, apresentou acerto de 56%. Das nove repetições, uma foi classificada erroneamente ao tratamento testemunha e três ao tratamento com infestação de dois percevejos. O tratamento com infestação de dois percevejos por planta obteve maior variação nos dados tendo acerto de 33% e na mesma frequência foi confundido com o tratamento testemunha e ao de infestação de um percevejo.

Estes resultados são similares aquele que demonstrou o comportamento espectral no decorrer das leituras, sendo que a confusão na redistribuição das observações, quando substituídas nas equações, foi maior para a coleta um dia após o período de infestação e para a outra uma menor confusão foi encontrada. No entanto, no tratamento com dois percevejos por planta, para esta coleta, não se obteve classificação superior a 33%, o que não seria esperado, pois para a primeira coleta este foi o que obteve maior acerto.

De maneira geral, os resultados sugerem que a leitura realizada logo após a retirada dos insetos, não expressa resposta às injúrias da praga. Porém, ao sétimo dia da retirada, essas respostas são mais acentuadas, apresentando variações sutis em relação aos tratamentos adotados e, não se diferenciam acentuadamente entre si.

São pequenas e sutis mudanças que direcionam a alguns fragmentos, cujos resultados merecem estudos mais específicos e melhor compreensão a respeito das feições detectadas.

4. CONCLUSÃO

A infestação de plantas de soja pelo percevejo-marrom, *Euschistus heros*, proporciona alterações espectrais na folha da planta, como o aumento da reflectância nas bandas do visível, entre os comprimentos de onda de 400 a próximo dos 700 nanômetros, e ocorrência do *blue-shift* do *red edge* com o pico máximo de inflexão da primeira derivada localizado nos comprimentos de onda 704 e 706 nanômetros.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; JÚNIOR, O, G. M. Controle genético do “Stay Green” no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**. v. 47, n. 270, p. 155-167, 2000.

ALBA, J. M. F.; FLORES, C. A.; GARRASTAZÚ, M.C. **Uso de espectrorradiometria para a caracterização de solos terras baixas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 4p. (Comunicado Técnico, 174), 2007.

ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; BARROSO, A. A. M.; FILHO, R. V. O milho RR2 e o glyphosate: Uma revisão1 RR2 corn and glyphosate: A review. **Revista Brasileira de Herbicidas**. v. 13, n. 1, p. 58-67, 2014.

ALMEIDA, M. A. F. **Filtragem digital de sinais biomédicos**. 1997. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

ALLISON, R. R. The electromagnetic spectrum: current and future applications in oncology. **Future Oncology**. v. 9, n. 5, p. 657-667, 2013.

BISPO, P. Da C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Variáveis geomorfológicas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). **Acta Amazônica**. v. 39, n. 1, p. 81-90, 2009.

BLACKBURN, G. A.; FERWERDA, J. G. Retrieval of chlorophyll concentration from leaf reflectance spectra using wavelet analysis. **Remote Sensing of Environment**. v. 112, n. 4, p. 1614–1632, 2008.

BOYER, W. P.; DUMAS, B. A. Plant shaking methods for soybean insect survey in Arkansas. In: **Survey methods for some economic insects**. United State: Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1969. p. 92-94.

BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, v. 49, n. 4, p. 423-435, 2007.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. De J. V.; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Solar radiation and physiologic aspects in soybean - a review. **Revista da FZVA**. v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

CERQUEIRA, E. O.; POPPI, R. J.; KUBOTA, L. T.; MELLO, C. Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos. **Química Nova**. v. 23, n. 5, p. 690-698, 2000.

CHAERLE, L. Imaging techniques and the early detection of plant stress. **Trends in Plant Science**. v. 5, n. 11, p. 495-500, 2000.

CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: **Manual of Remote Sensing** (Ed.). New York, 1999. Cap.3, p. 3- 58.

CLARK, R. N.; ROUSH, T. L. Reflectance Spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, v. 89, n. 7, p. 6329–6340. 1984.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo segundo Levantamento**, de setembro de 2017. Brasília- DF: CONAB, 2017.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. Suscetibilidade da soja a percevejos na fase anterior ao desenvolvimento das vagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p. 1067-1072, 2005.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; ALEXANDRE, T. M.; PELIZZARO, E. C.; MOSCARDI, F.; BUENO, A. F. **Práticas de manejo de pragas utilizadas na soja e seu impacto sobre a cultura**. Londrina: Embrapa- soja. 16p. (Circular técnica, 78). 2010b.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; PANIZZI, A. R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: Londrina: Embrapa- soja. 45p. (Circular Técnica, 24). 1999.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; LIMA, D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Ocorrência e dano de percevejos em cultivares de soja de crescimento determinado e indeterminado. In: **Reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil**, 31, 2010, Embrapa Soja, 2010, p. 78-80.

COSTA, M. L. M.; BORGES, M.; VILELA, E. F. Biologia reprodutiva de *Euschistus heros* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae). **Anais Sociedade Entomológica Brasileira**. v. 27, n. 4, p. 559-568, 1998.

Da GRAÇA, J. P.; UEDA, T. E.; JANEGITZ, T.; VIEIRA, S. S.; SALVADOR, M. C.; De OLIVEIRA, M. C. N.; ZINGARETTI, S M.; POWERS S, J.; PICKETT, J. A.; BIRKETT, M. A.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. The natural plant stress elicitor cis-jasmone causes cultivar-dependent reduction in growth of the stink bug, *Euschistus heros* and associated changes in flavonoid concentrations in soybean, *Glycine max*. **Phytochemistry**. v. 131, n. 3, p. 84-91, 2016.

DALMOLIN, R. S. D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DANSON, F. M.; CURRAN. P. J. Factors affecting the remotely sensed response of coniferous forest plantations. **Remote Sensing of Environment**. v. 43, n.1, p. 55-65. 1993.

DEGENHARDT, D. C.; GREENE, J. K.; KHALILIAN, A.; REEVES, R. B. Volatile Emissions from Developing Cotton Bolls in Response to Hemipteran Feeding Damage. **Journal of Entomological Science**. v. 46, n. 3, p. 177-190, 2011.

DEGRANDE, P. E.; VIVAN, L. M. **Pragas da soja**. Boletim de Pesquisa de Soja, v. 12, p. 254, 2007.

DELEGIDO, J.; VERRELST, J.; MEZA, C. M.; RIVERA, J. P.; ALONSO, L.; MORENO, J. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**. v. 46, n. 3, p. 42-52, 2013.

DIEZ-RODRIGUEZ, G. I.; OMOTO, C. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cialotrina. **Neotropical Entomology**. v. 30, n. 2, p. 311-316, 2001.

DREES, B. M.; RICE, M. E. The vertical beat sheet: a new device for sampling soybean insects. **Journal of Economic Entomology**. v. 78, n. 6, p. 1507-1510, 1985.

DUNWELL, J. M. Crop biotechnology: prospects and opportunities. **Journal of Agricultural Science**. v. 149, n. S1, p. 1729, 2011.

ELLIOTT, N.C.; KIECKHEFER, R. W.; WALGENBACH, D. D. Binomial sequential sampling methods for cereal aphids in small grains. **Journal Economic Entomology**. v. 83, n. 1, p. 1381-1387, 1990.

EL-HENDAWY, S. E.; AL-SUHAIBANI, N. A.; HASSAN, W. M.; TAHIR, M.; SCHMIDHALTER, U. Hyperspectral reflectance sensing to assess the growth and photosynthetic properties of wheat cultivars exposed to different irrigation rates in an irrigated arid region. **PLoS ONE**. v.12, n. 8, e0183262, 2017.

EL-HENDAWY SE, HASSAN WM, AL-SUHAIBANI NA, SCHMIDHALTER U. Spectral assessment of drought tolerance indices and grain yield in advanced spring wheat lines grown under full and limited water irrigation. **Agricultural Water Management**. v. 182, n. 1, p. 1-12, 2017b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Manejo da resistência do percevejo-marrom a inseticidas**, Junho de 2013. Brasília- DF: EMBRAPA-Soja, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Práticas de manejo de pragas utilizadas na soja e seu impacto sobre a cultura**, de Julho de 2010. Brasília- DF: EMBRAPA-Soja, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Soja em números (Safrá 2016/2017)**, de Junho de 2017. Brasília- DF: EMBRAPA-Soja, 2017.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EXELIS VISUAL INFORMATION SOLUTIONS. **ENVI Classic 5.3- Sulsoft.**, Inç., a subsidiary of Harris Corporation. 2015.

FALCONE FERREYRA, M. L.; RIUS, S. P.; CASATI, P. Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. **Frontiers in Plant Science**. v. 3, n. 9, pp. 1-15, 2012.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought Stress in Wheat during Flowering and Grain-filling (Periods.Critical) **Reviews in Plant Sciences**. v.33, n. 4, p. 331-349, 2014.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA,1998. 19 p.

FERREIRA, F. De F.; NEUMANN, P. S.; HOFFMANN, R. Análise da matriz energética e econômica das culturas de arroz, soja e trigo em sistemas de produção tecnificados no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 44, n.2, p. 380-385, 2013.

FIORO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R.; FORMAGGIO, A. R. Diferenciação espectral de solos utilizando dados obtidos em laboratório e por sensor orbital. **Bragantia**. v. 62, n. 2, p. 453-466, 2010.

FRIZZAS, M. R.; OLIVEIRA, C. M. Plantas transgênicas resistentes a insetos e organismos não-alvo: predadores, parasitoides e polinizadores. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1, p. 63-82, 2006.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**. v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GILES, K. L.; ROYER, T. A.; ELLIOTT, N. C.; KINDLER, S. D. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greengug (Homoptera: Aphididae) infesting winter wheat in the southern plains. **Journal Economic Entomology**. v. 93, n. 3, p. 1522-1530, 2000.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**. v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; LICHTENTHALER, H. K. Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700nm. **Journal of Plant Physiology**. v. 148, n. 3/4, p. 501-508, 1996

GODDOY, K. B.; ÁVILA, C. J.; DUARTE, M. M.; ARCE, C. C. M. Parasitismo e sítios de diapausa de adultos do percevejo marrom, *Euschistus heros* na região da Grande Dourados, MS. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1199-1202, 2010.

GOETZ, A. F. H.; JERRY, G. V.; SOLOMON, E.; ROCK, B. N. Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing, **Science**. v. 228, n. 4704, p. 1147-1153, 1985.

GUEDES, J. V. C.; FARIAS, J. R.; GUARESCHI, A.; ROGGIA, S. LORENTZ, L. H. Capacidade de coleta de dois métodos de amostragem de insetos-praga da soja em diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Rural**. v. 34, n. 4, p. 1299-1302, 2006.

GUO, R.; ZHAO, M. Z.; YANG, Z. X.; WANG, G. J.; YIN, H.; LI, J. D. Simulation of soybean canopy nutrient contents by hyperspectral remote sensing. **Applied Ecology And Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 1185-1198, 2017.

HEWITT, P.G. **Física Conceitual**. 9ª edição (Bookman), Porto Alegre, 2002.

HILL, R. A.; BOYD, D. S.; HOPKINSON, C. Relationship between canopy height and Landsat ETM+ response in lowland Amazonian rainforest. **Remote Sensing Letters**. v. 2, n. 3, p. 203-212. 2011.

HOUBORG, R.; ANDERSON, M.; DAUGHTRY, C. Utility of an image-based canopy reflectance modeling tool for remote estimation of LAI and leaf chlorophyll content at the field scale. **Remote Sensing of Environment**. v. 113, n. 1, p. 259-274, 2009.

KHOURY, JUNIOR. J. K.; PINTO, F. D. A. De C.; Dos SANTOS, N. T., DELLA LÚCIA, R. M.; MAEDA, E. E. Análise discriminante paramétrica para reconhecimento de defeitos em tábuas de eucalipto utilizando imagens digitais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 299-309, 2005.

KUIAWSKI, A. C. M. B.; SAFANELLI, J. L.; BOTTEGA, E. L.; NETO, A. M. De O.; GUERRA, N. Vegetation indexes and delineation of management zones for soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 47, n. 2, p. 168-177, 2017.

KUSS-ROGGIA, R.C.R. **Distribuição espacial e temporal de percevejos da soja e comportamento de *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera: Pentatomidae) na soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ao longo do dia**. 2009. 128f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

KOKALY, R. F.; SKIDMORE, A. K. Plant phenolics and absorption features in vegetation reflectance spectra near 1.66 μm . **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v.43, n. 1, p. 55-83, 2015.

LEITE, D. De O.; PRADO, R. J. Infrared spectroscopy: a presentation for high school students. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2504, 2012.

LI-COR. Instruction Manual: **Li-1800 Postable Spectroradiometer**. Lincoln, 1990.

MARTINELLI, S.; OMOTO, C. Resistência de lepidópteros-praga a inseticidas na cultura do algodão no Brasil. **Revista Brasileira De Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande. v. 10, n. 3, p. 1167-1182, 2006.

MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M.; DUARTE, A. P. Interação entre transgênicos (Bt) e inseticidas no controle de pragas chave em híbridos de milho safrinha. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 1, p. 71-79, 2011.

MOSCARDI, F.; BUENO, A. F.; SOSA-GOMÉZ, D. R.; ROGGIA, S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F.; CORSO, I. C.; YANO, S. A. C.

- Artrópodes que atacam as folhas de soja. In: HOFFMAN-CAMPO, C. B.; CORREA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 2012. Cap.4, p.631-672.
- MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K. Red edge shift and biochemical content in grass canopies. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 62, n. 1, p. 34–42, 2007.
- MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K.; WIEREN, S. Discrimination tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 57, n. 4, p. 263–272, 2003.
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; FIORIO, P. R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.995-1006, out. 2004.
- NILSON, T.; KUUSK, A.; LANG. M.; LUKK, T. Forest reflectance modeling: theoretical aspects and applications. **Ambio**. v. 32, n. 8, p. 535-541. 2003.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. ed. Edgard Blücher, 1989, 308p.
- PALESTINA, R. A.; EQUIHUA, M.; PEREZ-MAQUEO, O. M. Influencia de la complejidad estructural del dosel en la reflectancia de datos Landsat TM. **Madera Bosques**. v. 21, n. 1, p. 63-75, 2015.
- PANIZZI, A. R. O manejo integrado de pragas (MIP) em soja e o compromisso com o meio ambiente. **Soybean Congresso Mercosul**, Rosário: Argentina p.144-149, 2006.
- PANIZZI, A. R. Wild hosts of pentatomids: ecological significance and role in their pest status on crops. **Annual Review of Entomology**. v. 42, n. 1, p. 99-122, 1997.
- PANIZZI, A. R.; BUENO, A. F.; SILVA, F. A. C. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMAN-CAMPO, C. B.; CORREA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja - Manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 2012. Cap.5, 335-420.
- PANIZZI, A. R.; HIROSE, E. Survival, reproduction, and starvation resistance of adult southern green stink bug (Heteroptera: Pentatomidae) reared on sesame or soybean. **Annals of the Entomological Society of America**. v. 88, n. 5, p. 661-665, 1995.
- PANIZZI, A. R.; NIVA, C. C. Overwintering strategy of the brown stink bug in northern Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 509-511, 1994.
- PANIZZI, A. R.; VIVAN, L. M. Seasonal abundance of the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* in overwintering sites and the breaking of

dormancy. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 82, n. 2, p. 213-217, 1997.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados**. v. 43, n. 15, p. 303-326, 2001.

PRAÇA, L. B.; BATISTA, A. C.; MARTINS, E. S.; SIQUEIRA, C. B.; D. G. DE S.; GOMES, A. C. M. M.; FALCÃO, R.; MONNERAT, R. G. Estirpes de *Bacillus thuringiensis* efetivas contra insetos das ordens Lepidoptera, Coleoptera e Diptera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n. 1, p. 11-16, 2004.

QUAN, L.; GE, Q.; TONG, G. Modern pollen-vegetation relationship based on discriminant analysis across an altitudinal transect on Gongga Mountain, eastern Tibetan Plateau. **Chinese Science Bulletin**. v.57, n. 35, p. 4600-46008, 2012.

QUITÉRIO, G. C. M.; MAGALHÃES, L. A.; FILHO, C. A. De S.; ALMEIDA, T. I. R.; ALVES, M, N.; OLIVEIRA, W. J.; RABACO, L. M. L.; ROCHA, R. Uso da soja perene na detecção de estresses induzidos por pequenos vazamentos de hidrocarbonetos. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE.

R Core Team (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, F. C.; ROCHA, F. S.; ERASMO, E. A. L.; MATOS, E. P.; COSTA, S. J. Manejo com inseticidas visando o controle de percevejo marrom na soja intacta. **Revista de Agricultura Neotropical**. v. 3, n. 2, p. 48-53, 2016.

RINNAN, A.; BERG, F. V. D.; ENGELS, S. B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **Trends in Analytical Chemistry**. v. 28, n. 10, p. 1021-1222, 2009.

RODRIGUES, T. R.; FERNANDES, M. G.; SANTOS, H. R. Distribuição espacial de *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera, Aphididae) e *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Hemiptera, Aleyrodidae) em algodoeiro Bt e não-Bt. **Revista Brasileira de Entomologia**. v. 54, n. 1, p. 136-143, 2010.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 16. n. 1, p. 81-90, 2005.

SALUSO, A.; XAVIER, L.; SILVA, F. A. C.; PANIZZI, A. R. An invasive pentatomid pest in Argentina: neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**. v. 40, n. 6, p. 704-705, 2011.

- SANTOS JUNIOR, R. F. Dos.; SANTOS, J. M. Dos.; RUDORFF, B. F. T.; MARCHIORATO, I. A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**. v. 27, n. 4, p. 355-360, 2002.
- SAS Institute INC.SAS/STATTM SAS user's guide for windows environment. Cary : SAS Institute, 2001.
- SONG, H.-H.; RYU, H. W.; LEE, K. J.; JEONG, I. Y.; KIM, D. S.; OH, S.-R.;. Metabolomics investigation of flavonoid synthesis in soybean leaves depending on the growth stage. **Metabolomics**. v. 10, n. 5, p. 833-841, 2014.
- SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORSO, I. C.; MORALES, L. Insecticide resistance to endosulfan, monocrotophos and metamidophos in the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.). **Neotropical Entomology**. v. 30, n. 2, p. 317-320, 2001.
- SOSA-GÓMEZ, D. R.; SILVA, J. J. Neotropical brown stink bug (*Euschistus heros*) resistance to methamidophos in Paraná, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 45, n. 7, p. 767-769, 2010.
- SOSA-GÓMEZ, D. R.; SILVA, J. J.; LOPES, N. I. O.; CORSO, I. C.; ALMEIDA, A. M. R.; MORAES, G. C. P.; BAUR, M. E. Insecticide susceptibility of *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae) in Brazil. **Journal Economic Entomology**. v. 102, n. 3 p. 1209-1216, 2009.
- SOUZA, L. A.; BARBOSA, J. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; MALDONATO, W. Jr.; BUSOLI, A. C. Spatial Distribution of *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) in Soybean. **Neotropical Entomology**. v. 42, n. 4, p. 412-418, 2013.
- SOUZA, L. A.; BARBOSA, J. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; MALDONATO, W. Jr.; BUSOLI, A. C. Spatial Distribution of *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) in Soybean. **Neotropical Entomology**. v. 42, n. 4, p. 412-418, 2013.
- STODDARD, F. L.; NICHOLAS, A. H.; RUBIALES, D.; THOMASD, J.; VILLEGAS-FERNÁNDEZ, M. Integrated pest management in faba bean. **Field Crops Research**. v. 115, n. 3, p. 308-318, 2010.
- THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. **Hyperspectral remote sensing of vegetation**. Taylor & Francis Group, Inc. 1 st ed. 765 p. 2012.
- THENKABAIL, P. S.; SMITH, R. B.; DE PAUW, E. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. **Remote Sensing Environment**. v. 71, n. 2, p. 158-182, 2000.
- TIMBÓ, R. V.; HERMES-LIMA, M.; SILVA, L. P.; MEHTA, A.; MORAES, M. C. B. PAULA, D. P. Biochemical response in soybean to stink bug injury by the Brown Stink Bug *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) **PLoS One**. v. 9, n. 10, 2014.

- VOGELMANN, J. E.; ROCK, B. N.; MOSS, D. M. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. **International Journal of Remote Sensing**. v. 14, n. 8, p. 1563-1575, 1993.
- WANG, Q.; LI, P. Canopy vertical heterogeneity plays a critical role in reflectance simulation. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 169, n. 1, p. 111-121, 2013.
- WILLIAMS, L.; RODRIQUEZ-SAONA, C.; PARE, P. W.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. The piercing-sucking herbivores *Lygus hesperus* and *Nezara viridula* induce volatile emissions in plants. **Insect Biochemistry**. v. 58, n. 2, p. 84-96, 2005.
- XIA, J.; MUSTAFIC, A.; TOEWS, M. D.; HAIDEKKER, M. A. Stink Bug Feeding Induces Fluorescence in Developing Cotton Bolls. **Journal of Biological Engineering**. v. 5, n. 11, p. 2-9, 2011.
- ZENG, C.; RICHARDSON, M.; KING, D. J. The impacts of environmental variables on water reflectance measured using a lightweight unmanned aerial vehicle (UAV)-based spectrometer system. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 130, n. 1, p. 217-230, 2017.
- ZHANG, M.; ZHIHAO, Q.; LIU, X.; USTIN, S. L. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. **International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation**. v. 4, n. 4, p. 295–310, 2003.

APÊNDICE A

Comprimentos de onda que diferiram no teste de médias a 5% de significância.

Comprimento de onda (λ) nm	Sem percevejo		1 percevejo		2 percevejos		p-valor
Coleta 1: Um dia após 96 horas de infestação							
658	6,48	ab	6,62	a	6,28	b	0,03
678	6,37	ab	6,41	a	6,13	b	0,04
680	6,44	ab	6,50	a	6,22	b	0,04
686	6,80	ab	6,85	a	6,53	b	0,03
688	7,01	ab	7,08	a	6,72	b	0,03
690	7,34	ab	7,45	a	7,04	b	0,04
692	7,88	ab	8,00	a	7,53	b	0,05
Coleta 2: Sete dias após 96 horas de infestação							
434	7,84	ab	7,53	b	8,18	a	0,05
440	8,22	ab	7,64	b	8,30	a	0,02
446	8,06	ab	7,69	b	8,33	a	0,04
452	8,13	ab	7,76	b	8,38	a	0,02
454	8,04	ab	7,66	b	8,30	a	0,05
456	8,30	ab	7,80	b	8,42	a	0,05
458	8,02	ab	7,75	b	8,44	a	0,05
460	8,19	ab	7,75	b	8,41	a	0,03
462	8,16	ab	7,71	b	8,38	a	0,03
464	8,05	ab	7,71	b	8,36	a	0,05
466	8,16	ab	7,67	b	8,37	a	0,02
470	8,16	ab	7,72	b	8,32	a	0,05
472	8,13	ab	7,71	b	8,34	a	0,03
474	8,18	ab	7,66	b	8,33	a	0,02
476	8,13	ab	7,72	b	8,33	a	0,03
478	8,14	ab	7,70	b	8,36	a	0,05
480	8,13	ab	7,72	b	8,34	a	0,03
482	8,15	ab	7,68	b	8,34	a	0,03
484	8,17	ab	7,68	b	8,36	a	0,03
486	8,13	ab	7,72	b	8,32	a	0,03
488	8,17	ab	7,67	b	8,36	a	0,02
490	8,18	ab	7,34	b	8,37	a	0,05
492	8,21	ab	7,73	b	8,42	a	0,03
494	8,23	ab	7,75	b	8,44	a	0,02
496	8,27	ab	7,79	b	8,49	a	0,03
498	8,33	ab	7,85	b	8,53	a	0,03
500	8,34	ab	7,89	b	8,63	a	0,02
502	8,48	ab	8,01	b	8,69	a	0,04
504	8,56	ab	8,09	b	8,79	a	0,03
506	8,72	ab	8,24	b	8,95	a	0,05
664	7,95	ab	7,50	b	8,19	a	0,05
666	7,87	ab	7,45	b	8,11	a	0,05
668	7,82	ab	7,37	b	8,06	a	0,04
670	7,79	ab	7,35	b	8,02	a	0,04
672	7,78	ab	7,36	b	8,00	a	0,05

674	7,78	ab	7,35	b	8,01	a	0,05
676	7,81	ab	7,37	b	8,03	a	0,05
678	7,85	ab	7,45	b	8,06	a	0,05
680	7,92	ab	7,51	b	8,14	a	0,05
682	8,03	ab	7,60	b	8,25	a	0,05
