

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO
DA VARIABILIDADE NO ÍNDICE DE MASSA DA
SOJA E AUXÍLIO NO DIAGNÓSTICO DE SUAS
CAUSAS.**

TESE DE DOUTORADO

ADEMIR WENDLING

SANTA MARIA, 2014

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DA
VARIABILIDADE NO ÍNDICE DE MASSA DA SOJA E
AUXÍLIO NO DIAGNÓSTICO DE SUAS CAUSAS.**

por

Ademir Wendling

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau
de

Doutor em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr Ricardo Silveiro Balardin

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS
DA VARIABILIDADE NO ÍNDICE DE MASSA DA SOJA.**

elaborado por
Ademir Wendling

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

RICARDO SILVEIRO BALARDIN / ORIENTADOR – UFSM

IVAN FRANCISCO DRESSLER DA COSTA - UFSM

MARCELO G. MADALOSSO - PHYTUS

SANDRO BORBA POSSEBON – IFFAR - CAMPUS PANAMBI

MONICA PAULA DEBORTOLI – PHYTUS

Santa Maria, 27 de Agosto de 2014.

DEDICO ESTE TRABALHO

Aos meus pais, Silvino e Irene, que me deram a vida e ensinaram a vivê-la.

Aos meus irmãos, Beno, Nair e Elena, com quem cresci vivendo-a.

Minha esposa, Graziele, que está ao meu lado vivendo-a.

Ao meu filho, Bernardo, que eu consiga ensiná-lo a vivê-la.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, que me ensinaram a importância do estudo, do trabalho, da amizade, da humildade e da família.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, que me concedeu esta oportunidade de formação.

Ao Prof. Ricardo Silveiro Balardin, pela oportunidade, pela amizade, pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Rudiney Soares pelas orientações e disponibilização de equipamentos.

Ao meu sócio, amigo, Charles Bolson Pontelli, que apoiou esse trabalho e deu cobertura nas atividades quando necessário.

Aos colaboradores da BASE Precisão na Agricultura, que me auxiliaram na execução das atividades de campo, laboratoriais e de processamento. Um trabalho em equipe é muito mais fácil de ser executado.

Aos proprietários da Fazenda Águas Claras, pela disponibilização da área experimental, auxílio nas leituras de campo e suporte nas atividades de campo.

Aos colegas do programa de pós-graduação pelas discussões, pelas dicas, a troca de experiência e o convívio foram muito válidos.

A todos os amigos que sempre me apoiaram, para realização deste trabalho e na vida, aos velhos e novos, os terei sempre comigo.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para realização deste trabalho.

SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE NO ÍNDICE DE MASSA DA SOJA.

RESUMO - O sensoriamento remoto é a utilização de sensores para captação da energia eletromagnética refletida pelos objetos. Sua quantificação e qualificação tem auxiliado no diagnóstico de desenvolvimento de plantas e presença de anomalias. A presença de nematóides vem sendo diagnosticada em várias áreas do Rio Grande do Sul. As espécies mais encontradas são os nematóides de galhas (*Meloidogyne sp.*) e cisto (*Heterodera glycines*). O ataque de qualquer espécie reduz a produtividade, dependendo do número de indivíduos. Para elaboração de um plano de controle, é importante conhecer a distribuição espacial e identificação das espécies. O presente estudo teve por objetivo avaliar a potencialidade das ferramentas de sensoriamento remoto no auxílio da detecção da variabilidade da produtividade da soja e diagnóstico das possíveis causas. Espectroradiômetro, sensor ativo e imagem de satélite foram utilizadas para diagnosticar as manchas de índices de massa. Nessas áreas foram analisadas a presença de nematóides, a fertilidade do solo, os índices de compactação, a declividade do terreno e o número de plantas, a fim de compreender a variação dos índices. Dentre as ferramentas de sensoriamento remoto o sensor ativo apresentou o melhor resultado. Não foi encontrada correlação entre os índices de massa e fertilidade do solo e compactação do solo. Quando agrupado em classes de índice de massa, foi encontrada relação com a presença de nematóides. A declividade do terreno e o número de plantas se correlacionaram com os índices de massa.

Palavras-chave: Soja, nematóides, sensoriamento remoto, índice de massa.

REMOTE SENSING FOR IDENTIFICATION AND CAUSES OF VARIABILITY ON MASS INDEX ON SOYBEAN.

ABSTRACT - Remote sensing is the use of sensors to capture electromagnetic energy reflected by objects. The quantification and qualification of the reflected energy can help the diagnosis of plant development and the presence of anomalies. The presence of nematodes has been observed in several areas of Rio Grande do Sul state. The most frequent species are the *Meloidogyne sp.* (root-knot nematode) and *Heterodera glycines* (cyst nematode). All species can reduce productivity. In order to establish control programs, is essential to know the spatial distribution of nematodes species. The present study aims to evaluate the remote sensing tools to help in the detection of variability in soybeans and diagnosis of possible causes. Spectroradiometer, active sensor and satellite image were used to diagnose areas with different mass indexes. It was analyzed the presence of nematodes, soil fertility, soil compaction, land declivity and number of plants, in order to understand the causes of indices variation. The active sensor showed good performance in the detection of mass indexes. No correlation between index mass, soil fertility and soil compaction. When mass index grouped into classes, it was related to the presence of nematodes. The land declivity and the number of plants are correlated with mass indexes.

Keywords: Soybean, nematodes, remote sensing, mass index

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 1 – Resultados das análises de solo dos pontos em estudo. Março 2012. Santa Maria.....	64
TABELA 2 – Resultados das análises de folha dos pontos em estudo. Março 2012. Santa Maria.....	65
TABELA 3 – Matriz de correlação de Pearson, 2012 Santa Maria.....	68
TABELA 4 – Matriz de correlação de Pearson, 2013 Santa Maria.....	69

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1 – Imagem ilustrativa das leituras de um satélite.....	31
FIGURA 2 – Imagem ilustrativa do local de download a seu alcance.....	31
FIGURA 3 – Ilustração da posição do sensor ativo no equipamento e a área de leitura.....	32
FIGURA 4 – Imagem ilustrativa da utilização do espectroradiômetro a campo	33
FIGURA 5 – Ilustração dos locais de leitura dos sensores. 2012 Santa Maria....	34
FIGURA 6 – Mapa da variabilidade de NDVI da imagem de satélite na cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill), spot 5, Santa Maria, 2012	35
FIGURA 7 – Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill) safra 2011/2012 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2012.....	36
FIGURA 8 – Resposta espectral da soja (Glycine max (L.) Merrill) no florescimento. Santa Maria, março 2012.....	38
FIGURA 9 – (A) correlação entre NDVI calculado para as bandas da imagem de satélite e sensor ativo, (B) correlação do NDVI da imagem de satélite e extraído do espectroradiômetro, (C) correlação entre sensor ativo e NDVI extraído do espectroradiômetro nos comprimentos de onda do sensor ativo e (D) correlação entre sensor ativo e NDVI extraído do espectroradiômetro para os comprimentos de onda da imagem de satélite. Santa Maria, março 2012.....	39

CAPÍTULO 2

FIGURA 1 – Ilustração da posição do sensor ativo no equipamento e a área de leitura.....	60
FIGURA 2 – Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill) safra 2011/2012 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2012.....	66
FIGURA 3 – Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill) safra 2012/2013 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2013.....	67
FIGURA 4 – Leituras do sensor ativo 2012 e 2013(a) e médias por faixa (b). Santa Maria, 2013.....	68
FIGURA 5 - Correlações lineares entre as faixas de leituras do sensor ativo com <i>Meloidogynes</i> no solo, com declividade do terreno e números de plantas por metro linear. Safra 2012/2013, Santa Maria, 2013.....	69

SUMÁRIO

ESTRATÉGIA E CONDUÇÃO DO TRABALHO	15
CAPÍTULO 1 - VALIDAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA DIAGNÓSTICO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SOJA NO RS.	16
1 RESUMO.....	16
REMOTE SENSING TOOLS FOR VEGETATION INDEX DIAGNOSIS ON SOYBEANS IN RS.....	17
2 ABSTRACT	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Sensoriamento Remoto	18
3.2 Sensores	22
3.2.1 Espectroradiômetro	23
3.2.2 Imagem de Satélite	23
3.2.3 Sensor Ativo - CropSpec.....	24
3.3 Índices de vegetação.....	24
3.4 Aplicação do sensoriamento remoto em estudos na agricultura	25
4 OBJETIVO.....	29
5 MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Localização Geográfica e características de solo e clima	29
5.2 Coletas de dados por sensores:	30
5.2.1 Imagem de satélite	30
5.2.2 Sensor ativo	31
5.2.3 Espectroradiômetro	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

6.1 Resultado dos sensores	34
6.2 Validação das ferramentas de sensoriamento remoto	37
7 CONCLUSÕES	39
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
CAPÍTULO 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE NOS ÍNDICES DE MASSA NA SOJA NO RS.....	45
1 RESUMO.....	45
CHAPTER 2 - IDENTIFYING THE CAUSES OF MASS INDEXES VARIABILITY ON SOYBEANS IN RS.	46
2 SUMMARY	46
3 Introdução	47
4 Objetivos	47
5 REVISÃO DE LITERATURA	47
5.1 Sensoriamento remoto	47
5.3 Nematóides	51
5.3.1 <i>Meloidogyne sp</i>	52
5.3.2 <i>Heterodera glycines</i>	53
5.4 Nutrição de plantas.....	55
5.5 Compactação do solo.....	55
5.6 População de plantas	56
6 Material e métodos	57
6.1 Localização Geográfica e características de solo e clima	57
6.2 Leitura com sensor ativo.....	58
6.3 Definição dos locais de coleta	58
6.3.1 Coleta em 2012	58
6.3.2 Coleta em 2013	59

6.4 Coleta de amostras para análise	59
6.5 Levantamento de dados de compactação	60
6.6 Dados de declividade	60
6.7 Número de plantas	60
6.8 Metodologias de análise	60
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
8 CONCLUSÕES	69
9 REFERÊNCIAS	70

ESTRATÉGIA E CONDUÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1, na safra 2011/12, buscou-se fazer uma validação das ferramentas de sensoriamento remoto para utilização na identificação da variabilidade no índice de massa. Foram comparadas imagem de satélite e sensor ativo, com a referência que é o espectroradiômetro. Buscou-se efetuar o trabalho em condições de campo para estarem incluídas as variáveis e dificuldades que seriam observadas posteriormente no trabalho.

No capítulo 2, referente a utilização da ferramenta para o diagnóstico da causa da variabilidade, na safra 2011/12 foram selecionados locais obedecendo uma toposequencia. Os parâmetros avaliados foram fertilidade do solo e nutrição das plantas e presença de nematoides. Na safra 2012/13, foi alterada a disposição dos locais de estudo, os quais foram definidos buscando maior variabilidade nos mesmos. Foram adicionadas 3 variáveis diagnosticadas, estande de plantas, declividade e compactação do solo. Foram excluídas duas variáveis que são e fertilidade do solo e a nutrição de plantas que no primeiro ano apresentaram bons teores e não apresentaram diferença entre os pontos.

CAPÍTULO 1 - VALIDAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA DIAGNÓSTICO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SOJA NO RS.

1 RESUMO

O sensoriamento remoto é a utilização de sensores para captação da energia eletromagnética refletida pelos alvos sem o contato com os mesmos, sendo o espectrorradiômetro uma referência calibrada. A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura de maior importância no estado do RS. O sensoriamento remoto tem auxiliado no diagnóstico das causas da variabilidade. O presente estudo tem por objetivo avaliar o sensor ativo e a imagem de satélite comparado ao espectrorradiômetro de referência, quanto a sua capacidade de detectar as diferenças de massa na soja. O estudo foi realizado em uma lavoura comercial de soja na cidade de Tupanciretã, RS. Foram feitas leituras com os três sensores em 21 pontos da lavoura. Foi feita uma comparação entre as médias para avaliar sua correlação. A utilização do sensor ativo pode ser feita juntamente com operação de controle fitossanitário. As imagens de satélite são obtidas mediante pedido e necessita de condições de céu aberto. O espectrorradiômetro é de difícil e lenta utilização, necessita de boa luminosidade e deslocamento na lavoura. As ferramentas testadas foram eficientes em diferenciar as quantidades de massa na soja, onde o sensor ativo apresentou correlação de 88% com o espectrorradiômetro enquanto a imagem de satélite apresentou correlação de 67,9% com o espectrorradiômetro.

Palavras-chave: Espectrorradiômetro, sensor ativo, imagem de satélite, índice de vegetação.

REMOTE SENSING TOOLS FOR VEGETATION INDEX DIAGNOSIS ON SOYBEANS IN RS.

2 ABSTRACT

Remote sensing is based on the use of sensors to capture electromagnetic reflected energy by the object without contact, compared to spectroradiometer. Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is the most important crop in the state of RS and it is becoming more intensive with higher productivity. Remote sensing help in the diagnosis of the causes of variability. The present study aims to evaluate active sensor and satellite image relative to the reference spectroradiometer, in its ability to detect mass differences in soybean. The study was conducted in a commercial soybean crop in Tupanciretã, RS state. Readings were made at 21 points. A comparison between means was done to calculate the correlation. The tools tested were effective on differentiating the mass index quantities in soybeans. The active sensor correlated 88% with the spectroradiometer while the satellite image presented a correlation of 67.9% with the spectroradiometer.

Keywords: Spectroradiometer, active sensor, satellite image, vegetation index.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é definido como uma tecnologia que adquire informações sobre objetos sem manter contato físico com os mesmos (LILLESAND & KIEFER, 1994).

Segundo NOVO (1989), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento de dados, com a finalidade de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre. A energia eletromagnética é a que se encontra em maior quantidade na Terra. A intensidade da radiação eletromagnética (REM) que atinge um sensor constitui-se no o parâmetro utilizado para a obtenção dos dados dos alvos da superfície terrestre que, posteriormente são transformados em uma medida passível de interpretação.

Segundo MOREIRA (2011), a energia que chega ao planeta interage com todos os objetos sendo fracionada em: absorvida, refletida e transmitida. O fracionamento depende das propriedades físico-químicas e biológicas de cada objeto.

Dentre as diferentes aplicações do sensoriamento remoto, a cobertura vegetal tem sido estudada ao longo dos anos sob diferentes níveis de abordagem. Dos elementos que formam a planta e, conseqüentemente, o dossel vegetal, a folha é o principal constituinte do sistema, pois é basicamente nela onde ocorrem as interações da energia solar com a planta (PONZONI, 2001).

A região do espectro eletromagnético entre 0,4 e 0,7 μm , correspondente à radiação fotossinteticamente ativa, justificando a grande absorção apresentada pelas folhas nesta faixa de comprimento de onda (SALISBURY E ROSS, 1992; HALL & RAO, 1994). O aumento da energia refletida em torno de 0,55 μm é ocasionado pela reflexão da REM pelas clorofilas, que são os pigmentos fotossintéticos mais abundantes na vegetação verde sadia. As clorofilas 'a' e 'b' apresentam, respectivamente, dois picos de absorção, o maior nos comprimentos de

onda de 0,649 e 0,665 μm e o menor nos comprimentos de onda de 0,420 e 0,435 μm (HALL & RAO, 1994).

Entre 0,7 e 1,3 μm (região do infravermelho próximo), há um predomínio dos processos de reflexão e transmissão da radiação incidente, devido à não utilização dessa radiação nos processos de crescimento das plantas (KASPERBAUER, 1994). O espalhamento da radiação nessa porção do espectro eletromagnético é utilizado como um processo de resfriamento da folha, evitando o acúmulo de energia no interior da mesma (NOBEL, 1999). A partir de 1,3 μm os valores das diferentes partições da radiação incidente são função das bandas de absorção da água existente no mesófilo, localizadas nos comprimentos de onda de 1,4; 1,9; 2,7 μm (KASPERBAUER, 1994).

À medida que ocorrem alterações morfo-fisiológicas no dossel, as frações absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética também serão alteradas (RUSSEL et al., 1989; NOBEL et al., 1993). A análise e a quantificação dessas variações é o que possibilita o monitoramento da vegetação, bem como a integração dos dados obtidos a partir dos sensores remotos aos modelos matemáticos permitindo inferência sobre as propriedades biofísicas de um dossel.

Estudos que consideram todas as frações da radiação incidente são realizados somente em laboratório, a partir de medições em folhas individuais. Estudos com dosséis, realizados em campo, geralmente utilizam sensores orbitais ou aerotransportados, que medem a energia refletida pelos alvos da superfície terrestre, limitando as análises da resposta espectral da vegetação somente à porção refletida da radiação eletromagnética (MONTEITH E UNSWORTH, 1990). A arquitetura do dossel (ângulo de inserção, distribuição, orientação e espaçamento das folhas), o teor de pigmentos, o conteúdo de água, o grau de senescência e os estresses ambientais ou nutricionais aos quais as plantas estão submetidas, são os principais fatores que definem a reflectância de um dossel (GOEL, 1988).

A detecção de doenças de plantas ou até mesmo sua quantificação, por meio do sensoriamento remoto, baseia-se na radiação refletida das folhagens. A quantidade e a qualidade da radiação refletida pelas folhas são dependentes de vários fatores, entre eles a sanidade do tecido vegetal. Dependendo do sintoma observado, tecidos infectados podem apresentar menor reflectância na região do

infravermelho, quando comparados com tecidos sadios, possibilitando a sua detecção e quantificação pelas diferenças de refletância (GUAN & NUTTER, 2002).

O conhecimento do comportamento espectral da vegetação é fundamental, pois permite a escolha da região do espectro sobre o qual se pretende adquirir os dados. Conforme ASSUNÇÃO & FARMAGGIO (1989), os principais aspectos relacionados às regiões são: região do visível (0,4 a 0,7 μm): a refletância espectral dessa região é determinada pelos pigmentos existentes nas plantas podendo variar de espécie para espécie. Os pigmentos são encontrados nos cloroplastos e são divididos em clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Devido às características dos pigmentos, a absorção de energia é maior no comprimento de onda de 0,48 μm para clorofila “b” e de 0,68 μm para clorofila “a”, sendo menos intensamente absorvida entre 0,54 e 0,62 μm . Região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm): nessa região existe pequena absorção da radiação eletromagnética e considerável espalhamento interno devido à interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Geralmente, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância. A absorção da radiação eletromagnética pela água é geralmente baixa nesta região e a reflectância espectral é geralmente constante. Região do infravermelho médio (1,3 a 2,6 μm): nessa região a reflectância espectral é devida à água presente no interior da planta. A água absorve na região correspondente aos comprimentos de onda de 1,3 a 2,5 μm , principalmente nas faixas de absorção próximas a 1,4, 1,9 e 2,7 μm . Já os picos de reflectância, nessa mesma região, ocorrem entre as regiões de absorção de água, entre 1,6 e 2,2 μm .

Essas três regiões que compõem o espectro de resposta da vegetação e também o restante das regiões do espectro eletromagnético podem ser detectadas e registradas por sensores multiespectrais e hiperespectrais. Dentre essas três regiões, as mais utilizadas em trabalhos relacionados a doenças de plantas são as regiões do visível e do infravermelho próximo (SANTOS JUNIOR et al., 2002) que melhor detectam os sintomas de doenças de plantas. Dentro da faixa do visível, o comprimento de onda mais utilizado é o vermelho (R), que vai de 630 a 690 nanômetros, onde ocorre a maior absorbância do vermelho. Já na faixa do infravermelho o comprimento mais utilizado é o infra vermelho próximo (NIR) que vai de 790 a 900 nanômetros.

Ao produto final dos sistemas sensores atribuímos características básicas que definem a capacidade de distinguir respostas do objeto em estudo, em outras palavras a resolução, ou poder de resolução quando se trata do sensor. São elas a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Resolução espacial refere-se a menor área imageada, conhecido também como pixel. A resolução espectral refere-se aos intervalos de comprimento de onda que o sensor capta. De maneira geral para fins agrícolas captam a região do visível, e do infravermelho próximo. A resolução radiométrica representa os bits em que o sensor trabalha. Por exemplo, um sensor com 2 bits, irá trabalhar com 4 níveis de cinza, ou seja, cada pixel poderá receber até 4 níveis. Já um sensor com 5bits terá a possibilidade de classificar cada pixel em até 32 tons de cinza. E a resolução temporal se refere ao tempo em que o sensor leva para retornar ao mesmo ponto quando se fala de satélites (MOREIRA, 2011).

Os dados obtidos pelos diversos sistemas sensores testados, podem ser utilizados para atender diversas finalidades, sendo que da definição final depende da resolução necessária e do capital disponível para o mesmo.

3.2 Sensores

As primeiras imagens hiperespectrais foram obtidas na década de 70 GOETZ (2009). Os sensores de laboratório e/ou portáteis (de campo) geralmente apresentam alta resolução espectral, podendo ser mais detalhados do que os colocados em órbita. Os dados obtidos em laboratório e/ou em campo permitem compreender os princípios químicos e físicos da reflectância desses alvos e são os principais responsáveis pela obtenção dos padrões espectrais dos alvos, o que poderá vir a ser utilizado para validação dos dados obtidos por sensores orbitais (BEN-DOR et al., 1999).

Um sensor remoto óptico é constituído, basicamente, de um coletor que intercepta a radiância vinda do alvo e a direciona para um conjunto de detectores. Esses transformam a radiância em sinal elétrico, cuja intensidade é transformada num valor numérico digital que, em se tratando de sensores orbitais, pode ser armazenado a bordo do satélite ou transmitido para receptores em Terra. Os sensores remotos podem registrar a radiância em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético, denominados bandas ou canais espectrais MOREIRA (2011). Os sensores podem ser colocados muito próximos dos alvos, a metros de distância ou a milhares de quilômetros de distância.

Segundo a fonte da onda eletromagnética os sensores são:

Passivos

Utilizam apenas a REM natural refletida ou emitida a partir da superfície dos alvos. A luz solar é a principal fonte de REM dos sensores passivos (Moreira, 2011). A interação da radiação incidente com a folha depende das características anatômicas, fisiológicas e morfológicas das mesmas (Ferri, 1984).

Ativos

Esses sistemas utilizam REM artificial, produzida pelos próprios equipamentos. Essas ondas atingem a superfície do alvo, interagem, sendo refletidas de volta ao sensor. Uma vantagem dos sensores ativos é que as ondas

produzidas são constantes, podendo ser operados sob qualquer condição atmosférica (Moreira, 2011).

3.2.1 Espectroradiômetro

É um equipamento destinado a medir radiação refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre, medem e registram. A partir desses dados é possível gerar um produto que possa ser interpretado para fornecer informações úteis, como uma imagem ou gráfico (Moreira, 2011).

O espectroradiômetro é tido como instrumento de referência para medições de irradiância espectral ao ar livre em muitas aplicações de pesquisa. Dependendo do aparelho utilizado pode cobrir uma faixa espectral de 350nm a 2500nm (Moreira, 2011). O espectroradiômetro utilizado no presente estudo é o FieldSpec 4 Hi-Res Spectroradiometer da fabricantes ASDinc. A leitura em todo espectro eletromagnético resulta em 2151 bandas.

3.2.2 Imagem de Satélite

Satélites são equipamentos fabricados para os diversos fins e, com auxílio de foguetes, são lançados ao espaço para serem colocados em órbita, quando passam a navegar de forma Geoestacionária, ficam no mesmo ponto em relação à Terra, ou circulando sobre à Terra. Podem ficar tanto a alguns quilômetros assim como a milhares de quilômetros. A relação de massa, altitude e velocidade são determinantes para manutenção da órbita (MOREIRA, 2011)

Os satélites de observação da terra são equipados com sensores capazes de captar e REM refletida da luz solar. Para informações sobre agricultura normalmente os satélites são equipados com captação da REM na região do visível e do infravermelho próximo (MOREIRA, 2011).

Eles podem captar imagens perpendiculares a sua posição ou com alguma inclinação dependendo do local de interesse e da engenharia do equipamento. Após obtenção das imagens elas são enviadas para Terra em pontos específicos.

3.2.3 Sensor Ativo - CropSpec

O sensor ativo também trabalha com intervalo de comprimento de onda para gerar uma banda de informação, normalmente trabalha na faixa do vermelho e o infravermelho. O maior diferencial aos dois modelos de sensores anteriores é a sua emissão de energia eletromagnética o que permite trabalhar em condições de ausência de energia solar. Por outro lado, para operar necessita de uma fonte de energia. A característica de emitir sua própria energia lhe permite ter uma constância na leitura dos dados. Além disso, o sensor óptico é pouco afetado pelo tipo de solo e nível de luminosidade (HEEGE et al., 2008).

Esses modelos de sensores vêm sendo usados vastamente em aplicações de cobertura a dose variada de nitrogênio em milho e trigo. No Brasil, diferentes sensores de espectrometria óptica vêm sendo testados, tais como o GreenSeeker® (POVH et al., 2008;), Crop Circle® (AMARAL, 2010; POVH, 2011) e N-Sensor® (BRAGAGNOLO et al., 2013a, b). Todos eles utilizam, como princípio, a relação entre ondas no espectro do visível e infravermelho próximo e que estão diretamente ligadas à estrutura da planta.

3.3 Índices de vegetação

Índices de vegetação são obtidos de medidas radiométricas sobre dosséis de vegetação, nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo HUETE & JACKSON (1988). Segundo BARRET et al. (1989), há duas razões básicas para o uso dessas faixas espectrais: 1) estão presentes em quase todos os satélites de sensoriamento remoto (SR); 2) contêm mais de 90% da informação espectral da vegetação. TUCKER (1979) estudou os índices de vegetação formados por várias

combinações das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, constatando que eles são úteis para monitorar a biomassa fotossinteticamente ativa.

Como as alterações do índice de área foliar (IAF) são manifestadas na reflectância espectral dos dosséis agrícolas, esse pode ser estimado para grandes regiões através de dados de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) extraídos de imagens de sensoriamento remoto.

Segundo CHOUDHURY (1987), o NDVI é o índice de vegetação (IV) mais utilizado e é definido pela expressão:

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - V)/(\text{IVP} + V)$$

Em que:

IVP = reflectância medida na faixa espectral do infravermelho próximo;

V = reflectância medida na faixa espectral do vermelho.

Estudo envolvendo variáveis biofísicas, características espectrais e produtividade para as culturas do milho, algodão e soja, mostram que o NDVI foi altamente correlacionado com o IAF. Esse índice também estimou o IAF para o milho e para o algodão, apresentando altos coeficientes de correlação DAUGHTRY et al. (1984).

Durante o ciclo de qualquer cultura anual, há fases bem nítidas quanto ao padrão geral de comportamento espectral, sendo que, no início, há grande influência do solo, depois há uma fase de resposta espectral da vegetação verde e, no final do ciclo, há resposta da vegetação senescente e do solo BAUER (1981).

3.4 Aplicação do sensoriamento remoto em estudos na agricultura

Estudos com o intuito de manejo ou controle de doenças de plantas são amplamente realizados. Para avaliação da eficiência de tratamentos frente a fitopatógenos, pesquisas têm confrontado medidas de reflectância com métodos de avaliação visual. SILVA et al. (2009) compararam medidas de reflectância (% de luz solar refletida pelas plantas) no comprimento de onda próximo ao infravermelho,

com métodos de avaliação visual para avaliar a eficiência de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. Esses autores observaram que a refletância mostrou-se um método rápido, de alta correlação com produtividade e com o menor coeficiente de variação entre os métodos de avaliação em teste, além de permitirem a obtenção de informações sem que haja contato físico com o objeto, possibilidade de se obter repetidas observações, realização de leituras em uma faixa espectral não captada pelo olho humano, aumento na velocidade de aquisição dos dados e redução do esforço de trabalho, pois se baseia nas propriedades radiantes das plantas.

DANIELSENA & MUNK (2004) testaram o método visual e o sensoriamento remoto para avaliar a severidade do míldio em oito cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). As medidas de reflectância ofereceram uma avaliação confiável, rápida, fácil, não destrutiva e imparcial para avaliação da severidade do míldio dentro da mesma cultivar. Entretanto, entre as cultivares não foi possível a utilização dessa ferramenta, pois a reflectância das folhas é dependente da anatomia da folha, que geralmente apresenta diferença entre cultivares da mesma espécie. Os autores relataram que o método visual foi o mais apropriado quando foi avaliada a severidade da doença entre cultivares e que esse método é, frequentemente, o único disponível, uma vez que, os custos dos equipamentos que medem a reflectância ainda restringem sua aplicabilidade.

Na busca por métodos mais precisos e menos laboriosos visando a quantificação das doenças, LIPPERT et al (2009) utilizaram espectroradiômetro para avaliar o comportamento espectral da espécie *Eucalyptus camaldulensis* atacada pelo patógeno *Phaeophleospora eucalypti*, considerando diferentes níveis de dano na área foliar. Os resultados mostraram que as folhas muito atacadas e as folhas não atacadas foram melhores diferenciadas nos comprimentos de onda entre 550nm e 950nm, intervalo compreendido nas respectivas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Analisando essas duas regiões, foi observado que no espectro visível, as diferenças de valores de refletância entre os níveis de dano foram altamente significativas, porém as leituras de reflectância na região do infravermelho não apresentaram diferenças significativas em relação aos níveis de dano. Como a energia eletromagnética na região do espectro visível, em plantas saudas, é capturada pela clorofila para realização da fotossíntese e a doença causada por *P.*

eucalypti causam sintomas de manchas foliares que interferem na fotossíntese, pode-se afirmar que a região do espectro do visível foi a que melhor detectou a ocorrência de *P. eucalypti* nos diferentes níveis de danos testados.

Quando os fitopatógenos infectam plantas, a absorção da luz incidente apresenta mudanças no intervalo da região do visível e do infravermelho devido à diminuição do teor de clorofila, alterações em outros pigmentos e na estrutura interna da folha. A mudança na absorção da luz incidente, conseqüentemente, influencia a reflectância de plantas infectadas. Se uma planta está doente, alterações na sua fisiologia irão acontecer resultando em mudanças na reflectância, devido à diminuição do conteúdo de clorofila e também na estrutura interna da folha. Doenças de plantas, em alguns casos, diminuem o teor de clorofila, e a absorção da radiação solar incidente na planta doente resulta em uma diminuição na região do visível e conseqüentemente a reflectância geralmente é maior na faixa do visível. A alta reflectância das plantas verdes na faixa do infravermelho próximo é, principalmente, devido à estrutura interna das folhas. Plantas doentes também podem apresentar diferentes graus de alterações que levam a uma diminuição da reflectância espectral na faixa do infravermelho próximo (MOREIRA, 2011).

O sensoriamento remoto também pode ser utilizado para detectar e avaliar patógenos que causam podridões de raízes. Os sintomas reflexos, como o amarelecimento e a murcha das folhas, são a base da detecção remota para esse tipo de doença. Com instrumentos de sensoriamento remoto, além dos sintomas reflexos, é possível detectar o estresse das plantas, antes de ocorrer a murcha visível, taxas de fotossíntese e conteúdo de água, o que não é possível ao nível de olho humano.

REYNOLDS et al. (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral, com resultados satisfatórios, para avaliar a podridão de raízes causada por *Rhizoctonia solani* em beterraba (*Beta vulgaris* L.), em substituição à escala de avaliação visual, que é um método destrutivo e as plantas inteiras são retiradas do solo para avaliação da quantidade de pus exsudado da raiz principal da planta.

Em estudos de doenças de plantas causadas por nematóides, o sensoriamento remoto também é empregado. Estudos para detecção de *Heterodera glycines* em soja mostrou-se viável quando foi utilizada com medidas de espectrorradiometria de campo, nas regiões do visível e do infravermelho próximo. A partir dessa ferramenta, SANTOS JUNIOR et al. (2002) assumiram que o patógeno

H. glycines influenciou a resposta espectral das plantas de soja e conseqüentemente foi possível detectar e mapear áreas de soja infectadas.

Nesse mesmo contexto, MARCHIORATO et al. (2002) detectaram em plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) o nematóide *Meloidogyne incognita*, onde plantas situadas em pontos de maior densidade populacional de nematóide e conseqüentemente menor biomassa, apresentaram menor refletância. Utilizando um sensor óptico ativo comercial, que automaticamente calcula o NDVI, MOTOMIYA et al. (2007) conseguiram determinar a intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio. As leituras do NDVI obtidas confirmam que a variação de doses de fertilizante nitrogenado afeta significativamente a expressão do sintoma “carijó” e o desenvolvimento das plantas de algodoeiro.

GRISHAM et al. (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral com o objetivo de diferenciar folhas de duas cultivares de cana-de-açúcar infectadas com o vírus do amarelecimento foliar da cana-de-açúcar – Sugarcane Yellow Leaf Virus (ScYLV) e de plantas assintomáticas. Imagens hiperespectrais mostraram que a reflectância foliar foi eficaz em quantificar a infecção viral em 73% das folhas analisadas nas duas cultivares. As diferenças espectrais foram observadas na região ultravioleta (0,220-0,320 μm); violeta e azul (0,400-0,500 μm); laranja, verde e amarelo (0,500-0,590 μm), vermelho (0,590-0,650 μm) e infravermelho próximo (0,740-0,850 μm), sendo que todas as regiões foram importantes para diferenciar as plantas assintomáticas infectadas e não infectadas.

4 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar a correlação entre dois sistemas de sensoriamento remoto, imagem de satélite e sensor ativo, com espectroradiômetro, na capacidade de diagnosticar NDVI.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização Geográfica e características de solo e clima

O estudo foi realizado no município de Tupanciretã, localizado na região Fisiográfica do Planalto médio, altitude média de 508 m.

O solo da área experimental é um Argissolo, bem drenado. Na classificação de KOEPPEN, (1948), o clima é CFa, caracteriza-se pela ausência de estação seca com precipitação média anual de 1789mm.

O estudo foi realizado em uma área com alta variabilidade no índice vegetativo. A área experimental foi selecionada pelo depoimento do proprietário relatando a presença de nematóides (objeto de estudo no capítulo 2).

A área experimental teve os níveis de fertilidade corrigidos pelo processo de agricultura de precisão antes da corrente safra, onde a saturação de bases foi corrigida a 80%, níveis de fósforo para teor alto (ROLAS 2004) e o potássio foi elevado a 4% na CTC (capacidade de troca de cátions). Teor de matéria orgânica médio é de 2,1%. O solo apresenta teor de argila de 19,5%. O solo é profundo bem drenado.

O experimento foi conduzido em área comercial de produção de soja. Variedade de soja 5909 Nidera e semeada , no dia 10 de novembro de 2011. Densidade de plantio 18 grãos por metro linear. Tratamento de semente utilizado foi com Standak top 1ml/kg, COMO da Stoler 1,5 ml/kg, Nobrico 1,5 ml/kg, inoculante 2 ml/ha, Vitavax tiran 2ml/kg. Produtividades alcançadas foram de 25 sc/ha e o regime

pluviométrico foi de, 66mm em novembro, 25mm dezembro, 62mm janeiro, 96mm fevereiro e 65mm março.

As coletas de dados dos sensores, imagem de satélite, sensor ativo e espectrorradiômetro foram feitos conforme detalhes abaixo nos dias 12 fevereiro, 27 de fevereiro e 15 de março de 2012 respectivamente.

5.2 Coletas de dados por sensores:

5.2.1 Imagem de satélite

A imagem de satélite foi obtida no dia 12 fevereiro de 2012 em três intervalos de comprimento de onda, B2 (0,500-0,590), B3 (0,610-0,680) e B4 (0,780 a 0,890) μm , sendo a sena de 60x60 quilômetros, obtida perpendicularmente. A resolução espacial foi de 20m (10m na pancromática) e espectral de 8 bits. Foram calculados os índices NDVI para cada círculo estabelecido sobre as linhas de leitura do sensor ativo onde foi feita a média entre os 4 pixels centrais de cada ponto. A imagem é oriunda do satélite Spot 5. Suas imagens são descarregadas numa estação localizada em Cuiabá no MT. A altitude de operação do mesmo é 832 km e a resolução temporal de 26 dias.

Figura 1. Imagem ilustrativa das leituras de um satélite.

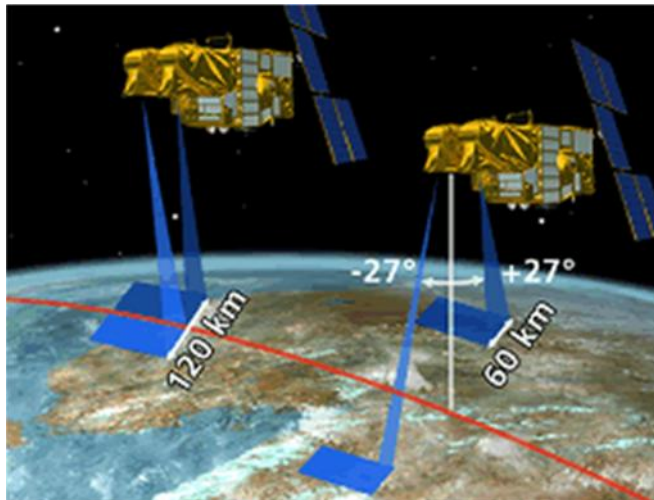


Figura 2. Imagem ilustrativa do local de download a seu alcance.

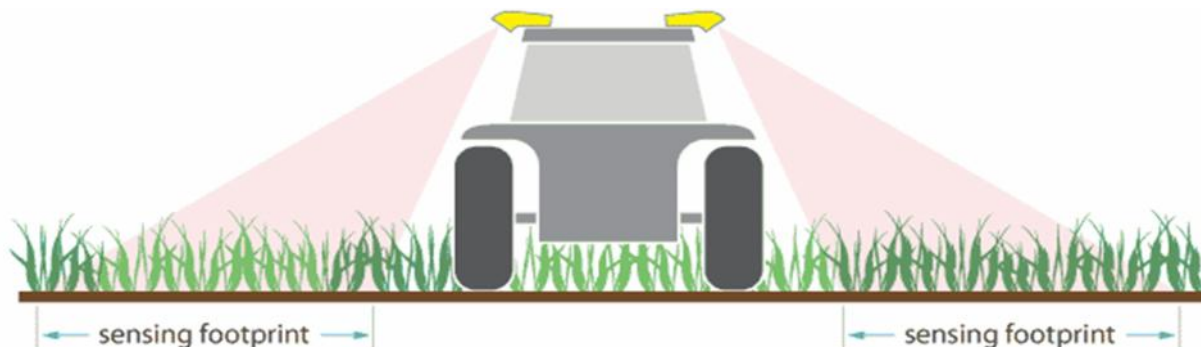


5.2.2 Sensor ativo

Sensor multiespectral que faz leitura em dois intervalos de comprimento de onda, (B3) 0,730 a 0,740 μm e (B4) 0,800 a 0,810 μm , a partir dos quais é calculado um índice, cuja equação não é fornecida pelo fabricante. O equipamento tem emissão ativa de ondas eletromagnéticas, não dependendo da luz solar. O sensor foi o CropSpec da Topcon.

Foram utilizados dois equipamentos de leitura, direcionados para cada lado do pulverizador, a leitura ocorria simultaneamente e é calculado um valor médio entre os dois. Os sensores foram acoplados a uma altura de 4 m do solo, direcionados um para cada lado do equipamento a um ângulo de 55 graus. A leitura foi feita juntamente com aplicação de inseticida e fungicida e na frente da aplicação da calda, sendo que o equipamento tem uma largura de operação de 27m. A leitura foi feita dia 27 de fevereiro de 2012. O registro da leitura do sensor ativo foi feito em um intervalo aproximado de 5 metros. Foram utilizadas as quatro leituras centrais para elaboração da média representando o ponto.

Figura 3. Ilustração da posição do sensor ativo no equipamento e a área de leitura.



5.2.3 Espectroradiômetro

Foi utilizado como referência no presente estudo, por apresentar uma leitura espectral de 0,350 a 2,500 μm , o que permite a extração de qualquer índice. As leituras foram feitas dentro dos círculos (27 m de diâmetro) posicionados sobre a linha de leitura do sensor ativo (Figura 5). Dentro de cada círculo foram feitas quatro leituras gerando um valor médio. As leituras foram feitas aproximadamente 1,6 m do solo, variando de 0,7 a 1 m da planta. Foi utilizada uma placa de bário para anular as interferências atmosféricas sobre a luz solar. Para o cálculo do NDVI foram extraídos valores médios para Banda 3 e Banda 4, nos comprimentos de 0,630-0,690 μm e 0,770-0,890 μm respectivamente, para correlação com imagem de satélite e de 0,730 a 0,740 e 0,800 a 0,810 μm respectivamente para correlação com o sensor ativo. A equação de NDVI $(B4-B3)/(B4+B3)$ foi utilizada para cálculo do índice.

Figura 4. Imagem ilustrativa da utilização do espectroradiômetro a campo.

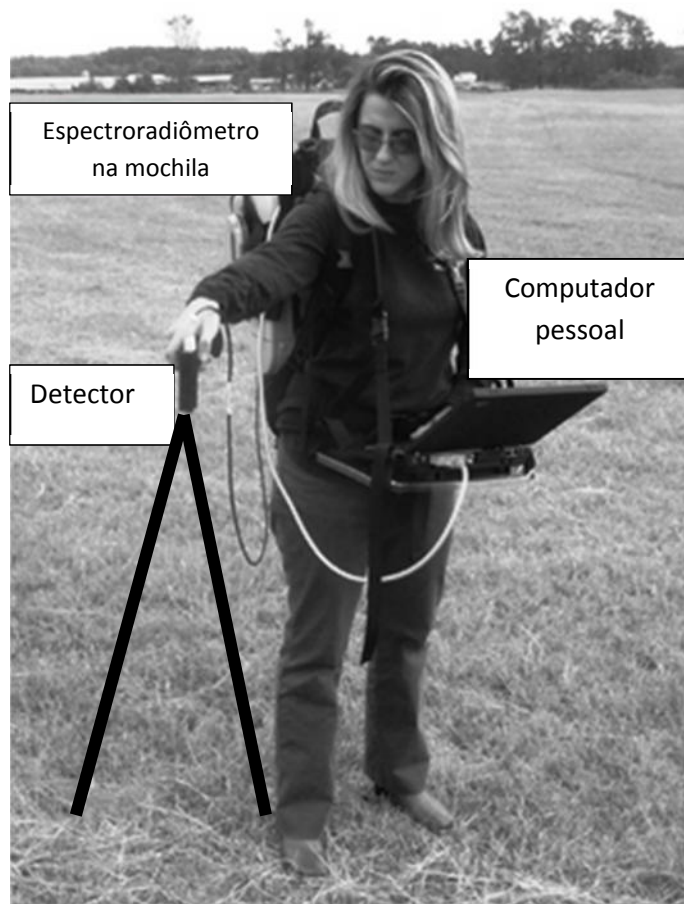
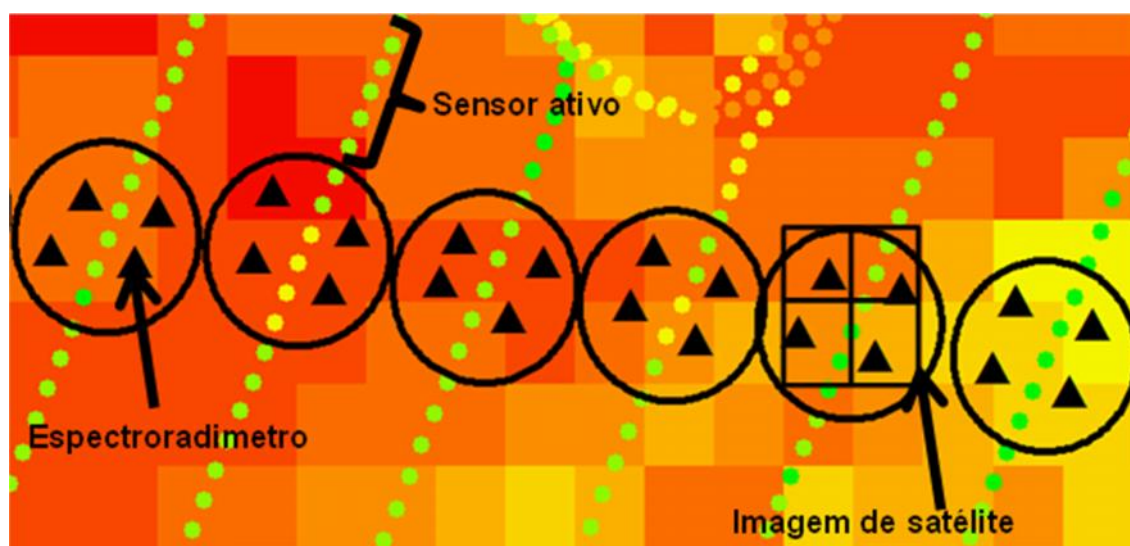


Figura 5. Ilustração dos locais de leitura dos sensores. 2012, Santa Maria.

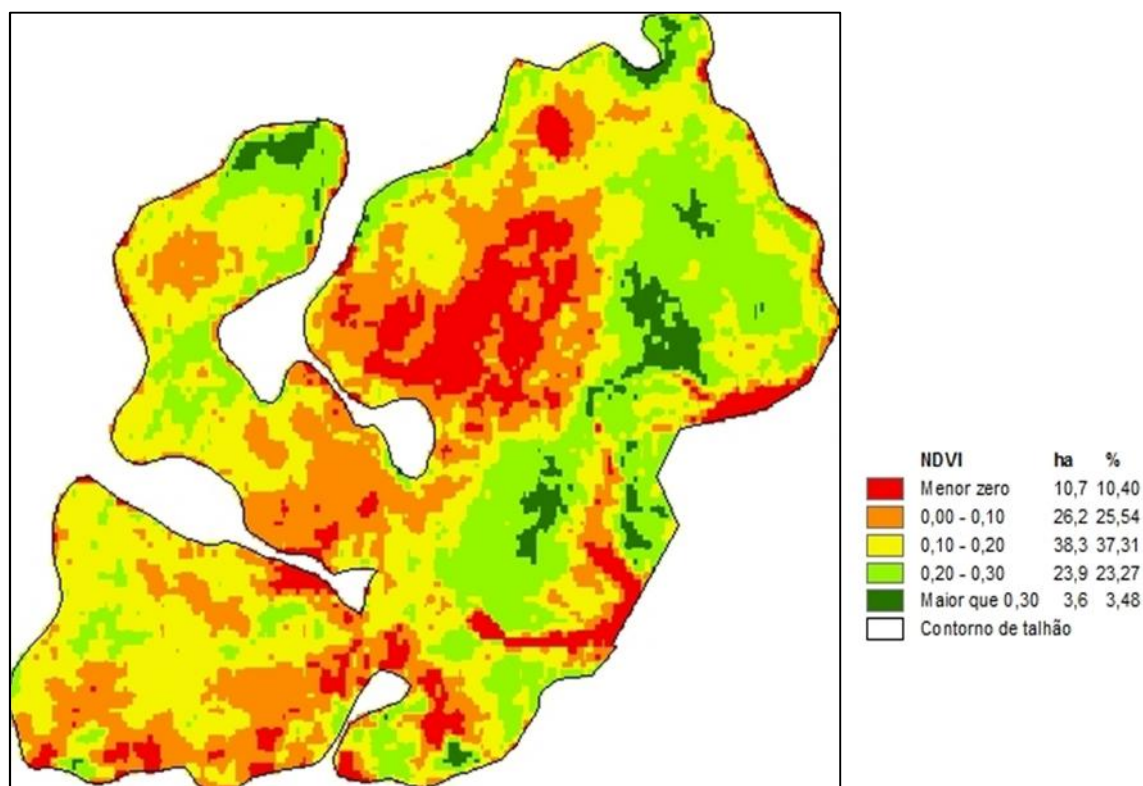


6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultado dos sensores

Na figura 6 está um mapa de NDVI oriundo da imagem de satélite obtida dia 12 de fevereiro. Pode-se observar grande variação na área. Cabe lembrar que a baixa precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro reduziram significativamente o desenvolvimento das plantas de soja, sendo que o índice teve locais que ficou negativo, isso caracteriza solo praticamente descoberto.

Figura 6: Mapa da variabilidade de NDVI da imagem de satélite na cultura da soja (*Glycine max*), spot 5, Santa Maria, 2012.

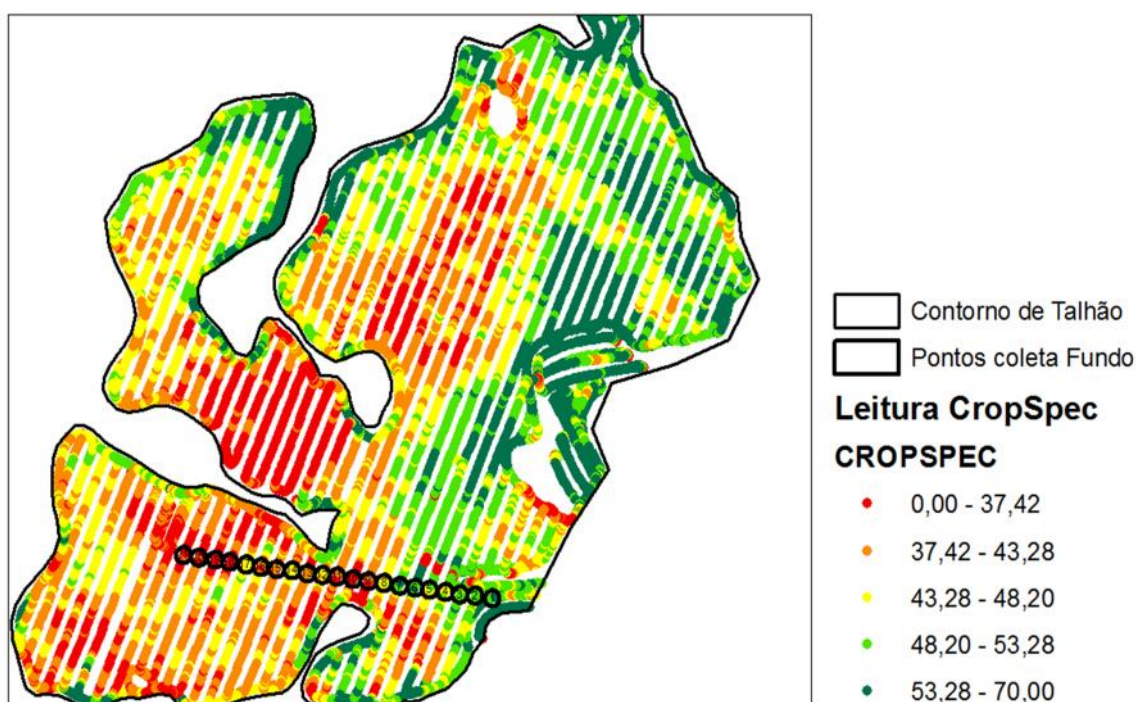


Na figura 7 podemos observar a leitura do sensor ativo. O sensor tem uma capacidade maior de detectar detalhes, principalmente nas bordas das lavouras, onde a imagem de satélite recebe interferência das vegetações fora da área cultivada. Pode-se observar também que as bordaduras estão com níveis mais altos

do índice. Como foi um ano seco e boa parte das bordas fica ao lado de banhados ocorria uma maior disponibilidade de água nessas zonas.

No interior do talhão, as imagens são mais relacionadas uma com a outra, principalmente em função da imagem de satélite ter menor interferência das bordas.

Figura 7: Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (*Glycine max*) safra 2011/2012 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2012.



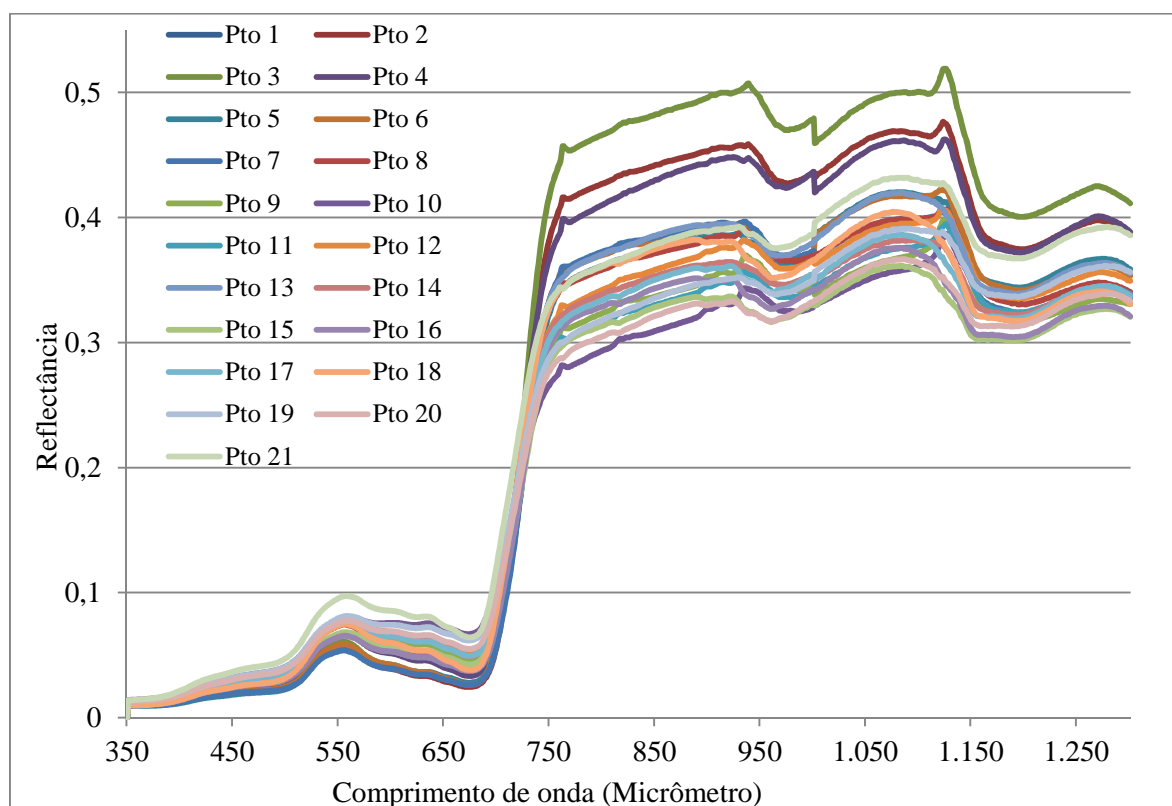
Na figura 6 e figura 7 estão apresentados os mapas das leituras da imagem de satélite e do sensor ativo. A correlação foi feita somente nos pontos onde foi realizada a leitura do espectrorradiômetro (Figura 9). Assim como nos pontos em estudo, analisados e correlacionados, pode ser observado nos mapas a semelhança entre as duas ferramentas. É possível observar um detalhamento maior de pequenas manchas no sensor ativo em relação à imagem de satélite devido ao tamanho do pixel da imagem de satélite que é de 10 m. Melhores resultados de correlação poderiam ser obtidos com resolução espacial menor da imagem de satélite, principalmente no que se refere ao efeito de borda. Essa diferença de resolução afetou negativamente a correlação da imagem de satélite com o espectrorradiômetro comparado ao índice de correlação do sensor ativo e o espectrorradiômetro, apresentados na Figura 9.

Na figura 8, podemos observar a resposta espectral da soja em 2012 nos locais de estudo. Pode-se observar uma diferença muito grande entre os locais de estudo, inclusive nas regiões que definem os índices de vegetação, vermelho e infravermelho próximo, assim como na região do verde. A soja apresentou resposta espectral típica de vegetação verde (MOREIRA, 2011), sendo variada conforme quantidade de biomassa.

As amostras 1, 2 e 3 apresentaram as maiores reflectâncias na região do infravermelho, caracterizado pela maior quantidade de massa. Já na região do verde, ocorre menor reflectância devido à absorbância da energia para o processo fotossintético.

De acordo com Ma et al. (2001) e Antuniassi; et al. (2007), existe correlação positiva entre a reflectância do dossel das plantas, expressa em valores de NDVI, e a produtividade das culturas. Isso é muito dependente das condições de clima da leitura até a colheita.

Figura 8. Resposta espectral da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) no florescimento. Santa Maria, março 2012.



Outro fator que contribuiu para uma menor correlação entre imagem de satélite e espectroradiômetro foi o intervalo entre as leituras dos dois sensores, de 12 de fevereiro até 15 de março, fato agravado pelo enorme déficit hídrico no período.

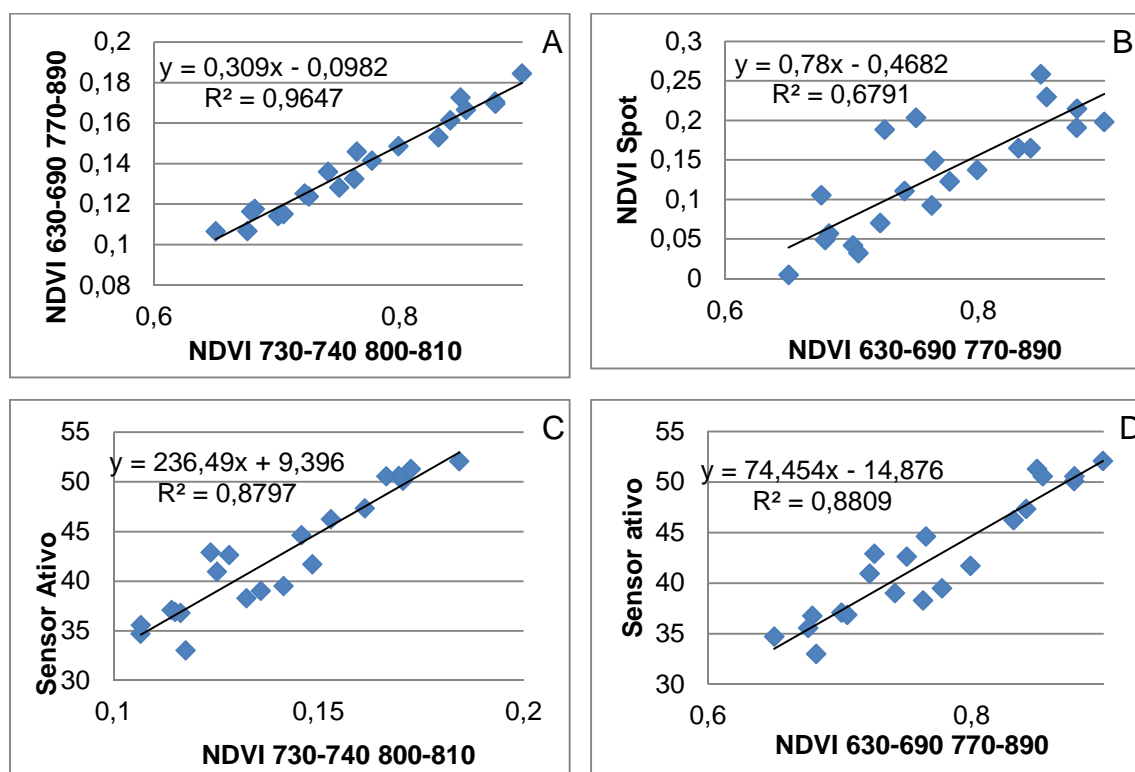
GROFF et al (2013) encontrou relação entre produtividade e índice GNDVI significativo em V9. Antes dessa fase vegetativa apresentava baixa correlação devido à interferência do solo e restos culturais e após essa fase a correlação era baixa porque ocorreu a saturação da leitura, devido ao desenvolvimento pleno da cultura.

6.2 Validação das ferramentas de sensoriamento remoto

Correlacionando os NDVIs extraídos dos dados do espectroradiômetro nos comprimentos de onda da imagem de satélite e do sensor ativo (Figura 9), a correlação ficou acima de 96%, o que caracteriza que ambas as faixas conseguem extrair informação muito semelhante na leitura. STEVEN et al (2003) fez uma intercalibração de sensores de satélites. Constatou que há pequenas diferenças, mas que se correlacionam numa margem de erro inferior a 2%.

Quando o NDVI extraído da imagem de satélite foi correlacionado com o NDVI extraído do espectroradiômetro (B) nos mesmos comprimentos de onda da imagem, conseguiu-se uma correlação de 67%. Na prática, isso pode ser considerado positivamente devido às diferentes datas de leitura 31 dias após e a diferente resolução espacial.

Figura 9. (A) correlação entre NDVI calculado para imagem de satélite e sensor ativo, (B) correlação do NDVI da imagem de satélite e extraído do espectrorradiômetro, (C) correlação entre sensor ativo e NDVI extraído do espectrorradiômetro nos comprimentos de onda do sensor ativo e (D) correlação entre sensor ativo e NDVI extraído do espectrorradiômetro para os comprimentos de onda da imagem de satélite. Santa Maria, março 2012.



Comparando o índice calculado do sensor ativo com o índice calculado a partir dos dados do espectrorradiômetro nos mesmos comprimentos de onda do sensor ativo (C), a correlação chegou a mais de 87%. Essa correlação é semelhante àquela entre o índice do sensor ativo e o NDVI calculado pelos comprimentos de onda da imagem de satélite (D), mostrando a viabilidade do uso da ferramenta a campo como uma ótima alternativa para levantamentos de índices de massa.

7 CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que o sensor ativo se correlacionou em 87% com o espectroradiômetro e a imagem de satélite apresentou correlação de 67% com o espectroradiômetro.

A utilização do sensor ativo a campo é mais prática, mais econômica e pode ser realizada sob condições de luminosidade diferentes. Mais estudos são necessários para identificar o comportamento das ferramentas na mesma data, ou pelo menos mais próximas umas das outras.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, L.R.; AND J.P. MOLIN. 2011. **Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar.** Pesq. Agropec. Bras. 46:1633-1642. doi:10.1590/S0100-204X2011001200008

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R.; SHARP, T. C. **Agricultura de Precisão.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia. Anais... Uberlândia: CNPA, 2007. p. 11-21.

ASSUNÇÃO, G.V. FORMAGGIO, A.R. **O sensoriamento remoto na Agricultura: conceitos básicos, metodologias e aplicações.** São José do Campos: INPE: 1989. 217p.

BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; VANDERBITT, V. C. **Spectral agronomic relationship of maize, soybean and canopies.** In: International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, 1., Avignon, 1981. Anais... Avignon: SAM, 1981. p. 8-11.

BARRET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D.J. TSAVI: **A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation.** In: Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'90, 12., 1990, Vancouver. Proceedings... Vancouver. 1989. p. 1.355-1.358

BEN-DOR, E., IRONS, J. R., EPEMA, G. F. **Soil reflectance.** In: RENAZ, A. N. (Ed.). **Remote sensing for the Earth Sciences. Manual of remote sensing. 3th ed.** [San Francisco]: Wiley, 1999. p. 111-188.

BRAGAGNOLO, J; AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.S.; JASPER, J.; KUNZ, J. & TEIXEIRA, T.G. **Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I. Plant nutrition and dry matter production.** R. Bras. Ci. Solo, 37:1288-1298, 2013.

BRAGAGNOLO, J., T.J.C. AMADO, R.S. NICOLOSO, A.L. SANTI, J.E. FIORIN, AND F.M. TABALDI. **Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: II. Indices of fertilizer efficiency and corn yield.** R. Bras. Ci. Solo. 37:1299-1309. doi:10.1590/S0100-06832013000500019, 2013b.

CHOU DHURY, B. J. **Relationship between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis**, Remote Sensing of Environment, St. Paul, v.22, n.2, p. 209-233, 1987.

DANIELSENA, S.; MUNK, L. **Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew**. Crop Protection. v. 23, p. 219–228, 2004.

DAUGHTRY, C. S. T.; GALLO, H. P.; BIEL, L. L.; KANEMASU, E. T.; ASRAR, G.; BLAD, B. L.; NORMAN, J. M.; GARDNER, B. R. **Spectral estimative of agronomic characteristics of crops**. In: SYMPOSIUM OF MACHINE PROCESSING OF REMOTE SENSED DATA. 1., Lafayette, 1984. Proceedings. Lafayette: Purdue University, 1984. p. 348-355.

FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas: anatomia**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 113 p.

GRISHAM, M.P., JOHNSON, R.M., ZIMBAB, P.V. **Detecting Sugarcane yellow leaf virus infection in asymptomatic leaves with hyperspectral remote sensing and associated leaf pigment changes**. Journal of Virological Methods. v. 167, p.140–145, 2010.

Goel, N.S. **Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data**. Remote Sensing Reviews, v. 4, n. 1, p. 1-212, 1988.

GOETZ A.F.H. Three decades of hyperspectral remote sensing of the earth: A personal view. **Remote Sensing of Environment**. 113: s5-s16, 2009.

GROFF, E.C.; NANNI, M.R.; POVH, F.P.; CESAR, E. **Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja**. Seminário: Ciência Agrária, Londrina, V. 34, n. 2, p 517-526, mar./abr. 2013.

GUAN, J., NUTTER, W.F. **Relationships between percentage defoliation, dry weight, percentage reflectance, leaf-to-stem ratio, and green leaf area index in the alfalfa leaf spot pathosystem**. Crop Science. Vol. 42. 2002. P. 1264-1273.

HALL, D.O., RAO, K.K. **Photosynthesis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 211p.

HEEGE, H.J.; REUSCH, S. & THIESSEN, E. **Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany**. *Prec. Agric.*, 9:115-131, 2008.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D. **Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies**. *Remote Sensing of Environment*, St. Paul, v.25, n.1, p.89-105, 1988.

LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Photo Interpretation**. 3rd ed. John Wiley & Sons: New York. 750p. 1994.

LIPPERT, D.B., BENEDETTI, A.C.P., PEREIRA, R.S., MUNIZ, M.F.B. **Espectrorradiometria de folhas de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. atacadas por Phaeophleospora eucalypti**. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPI, p. 2793-2799.

KASPEBAUER, M.J. **Light and plant development**. In: Wilkinson, R.E. (Ed.) *Plant-environment interactions*. New York: Marcel Dekker, 1994. 599p.

KOPPEN, W.P. **Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México, 1948.

MA, B. L.; DWYER, L. M.; COSTA, C.; COBER, E. R.; MORRISON, M. J. **Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, n. 6, p. 1227-1234, 2001.

MARCHIORATO, I.A. **Mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtidos por satélites como instrumentos auxiliares às decisões sobre o manejo de nematóides na cultura de soja**. Jaboticabal, SP, 2008. 55p. (Tese de Doutorado).

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4.ed. atual. E ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2011.

MOTOMIYA, A.V.A., BALLAMINUT, C.E.C., MOLIN, J.P.; CHIAVEGATO, E.J.; ACHEVARRIA, P. B.; COLACO, A. F. **Determinação da intensidade de**

infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio por meio de um sensor óptico ativo. In: VI Congresso Brasileiro do Algodão. Uberlândia, MG, 2007.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology.** London: Academic Press, 1999. 474p.

NOBEL, P.S.; FORSETH, I.; LONG, S.P. **Canopy structure and light interception.** In: Hall, D.O.; Scurlock, H.R.; Bolhàr-Nordenkampf; Leegood, R.C.; Long, S.P. Photosynthesis and production in a changing environment. London: Chapman & Hall, 1993. p.79-90.

NOVO, E.M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo. Edgard Blucher. 1989. 308p.

PONZONI, F.J. **Comportamento espectral da vegetação.** P. 157-199. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001, 262p.

POVH, F.P. **Utilização de sensor óptico ativo em culturas de cereais.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 85p. (Dissertação de Mestrado).

POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R. & SALVI, J.S. **Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais.** Pesq. Agropec. Bras., 43:1075-1083, 2008.

POVH, F.P. & GIMENEZ, L.M. **Aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável.** In: FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F & BARTH, G., ed. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Ponta Grossa, 2011. p.217-247.

REYNOLDS, G.J., WINDELS, C.E., MACRAE, I.V., LAGUETTE, S. **Hyperspectral remote sensing for detection of rhizoctonia crown and root rot in sugarbeet.** <http://www.sbreb.org/research/plant/plant08/HyperspectralRemote>. Data da consulta: 02 de agosto de 2010

ROLAS. **Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** CQFS – RS/SC, Porto Alegre, RS 2004.

MONTEITH, J.L.; RUSSEL, G.; JARVIS, P.G. **Absorption of radiation by canopies and stand growth.** In: Russel, G.; Marshall, B.; Jarvis, P.G. *Plant canopies: their growth, form and function.* Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p.21-39.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology.** Fourth edition, Wadsworth Pub., 1992. 682p.

SANTOS JUNIOR R.F., SANTOS, J.M., RUDORFF, B.F.T. & MARCHIORATO, I.O. **Detecção de Heterodera glycines em plantio de soja mediante espectrorradiômetro no visível e infravermelho próximo.** *Fitopatologia Brasileira* 27:355-360. 2002.

SILVA, A.J. DA, CANTERI, M.G., SANTIAGO, D.C., HIKISHIMA, M., SILVA, A.L. DA. **A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja.** *Summa Phytopathologica*, v. 35, n. 1, p. 53-56, 2009.

STEVEN, M. D.; MALTHUS, T. J.; BARET, F.; XU, H.; CHOPPING, M. J. **Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems.** *Remote Sensing of Environment*. v. 88, p. 412-422, 2003.

TUCKER, C. J. **Red and photographic linear combinations for monitoring vegetation.** *Remote Sensing of Environment*, St. Paul, v.8, n.2, p.127-150, 1979.

CAPÍTULO 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE NOS ÍNDICES DE MASSA NA SOJA NO RS.

1 RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura mais cultivada no Brasil. O uso de tecnologias, como o sensoriamento remoto, tem auxiliado no diagnóstico da variabilidade da cultura. A identificação das causas da variabilidade é um dos desafios para eliminá-las e conseguir alcançar produtividades mais altas. O presente estudo tem por objetivo avaliar a relação entre índices de massa de um sensor ativo, a presença de nematóides, a fertilidade do solo, os índices de compactação, a declividade do terreno e o número de plantas a fim de compreender a razão dos diferentes índices. O estudo foi realizado em uma área comercial de soja com 100 ha. Foi feita leitura com um sensor ótico ativo. Foram definidos 5 pontos nas 5 classes de variabilidade. Nesses pontos, foram avaliadas as variáveis em estudo. A nutrição das plantas e a compactação do solo não apresentaram relação significativa com os índices de massa. A declividade do terreno e o número de plantas se correlacionaram com os índices de massa. Altas precipitações em novembro e dezembro comprometeram o estande de plantas. Foi possível observar correlação entre os índices de massa e a presença de nematóides nas faixas estabelecidas.

Palavras-chave: Nematóides, sensoriamento remoto, fertilidade do solo, compactação do solo, estande de plantas.

CHAPTER 2 - IDENTIFYING THE CAUSES OF MASS INDEXES VARIABILITY ON SOYBEANS IN RS.

2 SUMMARY

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is the most widely grown crop in Brazil. The use of technologies like remote sensing, helped in the diagnosis of culture variability. Identification the causes of variability is one of the challenges to eliminate it and achieving higher productivity. The study aims to evaluate the relationship between mass indexes of an active sensor, the presence of nematodes, soil fertility, rates of compaction, the land declivity and the number of plants in order to understand the reason of the different indices. The study was conducted in a commercial soybean field with 100 hectares. The reading was done with an active optical sensor. Five points were defined in the five class of variability. At these points was study the variables assessed. The plant nutrition and soil compaction had no significant relationship with mass indexes. The soil declivity and the number of plants correlated with mass indexes. High rainfall in November and December compromised the plant stand. It was observed a correlation between mass indexes and the presence of nematodes in established ranges.

Keywords: nematodes, remote sensing, soil fertility, soil compaction, plant stand.

3 INTRODUÇÃO

Adoção de agroquímicos, fertilizantes, novas variedades de sementes, irrigação, etc, com o objetivo de alcançar altas produtividades também tem levado ao desenvolvimento de tecnologias para auxílio em diagnósticos rápidos, precisos e que viabilizem a construção de programas de controle consistentes e confiáveis em médio e longo prazo.

4 OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é a utilização de sensor remoto ativo para diagnosticar variabilidade no índice vegetativo da soja e buscar possíveis causas da variabilidade.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Sensoriamento remoto

Todo objeto reflete e/ou emite uma radiação eletromagnética. O sensor remoto ativo é capaz de efetuar leitura dessa radiação eletromagnética em intervalos de comprimento de onda para gerar uma banda de informação, normalmente trabalha na faixa do vermelho e o infravermelho. Essas bandas de informação servem para calcular índices de vegetação das culturas, como NDVI (Moreira, 2011).

Esse sensor tem a sua emissão de energia eletromagnética o que permite trabalhar em condições de ausência de energia solar. Por outro lado, necessita de uma fonte de energia para efetuar uma operação a campo. A característica de emitir sua própria energia lhe permite constância na leitura dos dados. Além disso, o

sensor óptico é pouco afetado pelo tipo de solo e nível de luminosidade (HEEGE et al., 2008).

Esses modelos de sensores vêm sendo utilizados vastamente em aplicações de cobertura a dose variada de nitrogênio em milho e trigo. No Brasil, diferentes sensores de espectrometria óptica vêm sendo testados, tais como o GreenSeeker® (POVH et al., 2008;), Crop Circle® (AMARAL, 2010; POVH, 2011) e N-Sensor® (BRAGAGNOLO et al., 2013a, b). Todos eles utilizam, como princípio, a relação entre ondas no espectro do visível e infravermelho próximo e que estão diretamente ligadas à estrutura da planta.

Estudos com o intuito de manejo ou controle de doenças de plantas são realizados. Para avaliação da eficiência de tratamentos no controle de fitopatógenos, pesquisas têm confrontado medidas de reflectância com métodos de avaliação visual. Silva et al. (2009) compararam medidas de reflectância (% de luz solar refletida pelas plantas) no comprimento de onda próximo ao infravermelho, com métodos de avaliação visual para avaliar a eficiência de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Esses autores observaram que a reflectância mostrou-se um método rápido, de alta correlação com produtividade e com o menor coeficiente de variação entre os métodos de avaliação em teste, além de verificarem vantagens em relação aos métodos de avaliação visual, como: obtenção de informações sem que haja contato físico com o objeto, possibilidade de se obter repetidas observações, realização de leituras em uma faixa espectral não captada pelo olho humano, aumento na velocidade de aquisição dos dados e redução do esforço de trabalho,.

Danielsen & Munk (2004) testaram o método visual e o sensoriamento remoto para avaliar a severidade do míldio em oito cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). As medidas de reflectância ofereceram uma avaliação confiável, rápida, fácil, não destrutiva e imparcial para avaliação da severidade do míldio dentro da mesma cultivar. Entretanto, entre as cultivares não foi possível a utilização dessa ferramenta, pois a reflectância das folhas são dependentes da anatomia da folha, que geralmente apresenta diferença entre cultivares da mesma espécie. Os autores relataram que o método visual foi o mais apropriado quando foi avaliada a severidade da doença entre cultivares e que esse método é,

frequentemente, o único disponível, uma vez que, os custos dos equipamentos que medem a reflectância ainda restringem sua aplicabilidade.

A quantificação precisa da área foliar lesionada em função de doenças de plantas é uma tarefa extremamente trabalhosa. A contagem de lesões e posterior medida de seu comprimento e largura são atividades realizadas, geralmente, em trabalhos experimentais em laboratório. Na busca por métodos mais precisos e menos laboriosos, Lippert et al. (2009) utilizaram a espectrorradiometria para avaliar o comportamento espectral da espécie *Eucalyptus camaldulensis* atacada pelo patógeno *Phaeophleospora eucalypti*, considerando diferentes níveis de dano na área foliar. Os resultados mostraram que as folhas com severidade elevada e as folhas não atacadas foram melhores diferenciadas nos comprimentos de onda entre 0,550 μm e 0,950 μm , intervalo compreendido nas respectivas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Analisando essas duas regiões, foi observado que no espectro visível, as diferenças de valores de reflectância entre os níveis de dano foram altamente significativas, porém as leituras de reflectância na região do infravermelho não apresentaram diferenças significativas em relação aos níveis de dano.

O sensoriamento remoto também pode ser utilizado para detectar e avaliar patógenos que causam podridões de raízes. Os sintomas reflexos, como o amarelecimento e a murcha das folhas, são a base da detecção remota para esse tipo de doença. Com instrumentos de sensoriamento remoto, além dos sintomas reflexos, é possível detectar o estresse das plantas, antes da murcha tornar-se visível, taxas de fotossíntese e conteúdo de água, o que não é possível ao nível de olho humano. Reynolds et al. (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral, com resultados satisfatórios, para avaliar a podridão de raízes causada por *Rhizoctonia solani* em beterraba (*Beta vulgaris* L.), em substituição à escala de avaliação visual, que é um método destrutivo, e as plantas inteiras são retiradas do solo para avaliação da quantidade de pus exsudado da raiz principal da planta.

Em estudos de doenças de plantas causadas por nematóides, o sensoriamento remoto também é empregado. Essa ferramenta foi utilizada para detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja e mostrou-se viável quando foi utilizada com medidas de espectrorradiometria de campo, nas regiões do visível e

do infravermelho próximo. A partir dessa ferramenta, Santos Junior et al. (2002) assumiram que o patógeno *H. glycines* influenciou a resposta espectral das plantas de soja e conseqüentemente foi possível detectar e mapear áreas de soja infestadas.

Nesse mesmo contexto, MARCHIORATO et al. (2002) detectaram em plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) o nematóide *Meloidogyne incognita*, onde plantas situadas em pontos de maior densidade populacional de nematóide e conseqüentemente menor biomassa, apresentaram uma menor refletância. Utilizando um sensor óptico ativo comercial, que automaticamente calcula o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), MOTOMIYA et al. (2007) conseguiram determinar a intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio. As leituras do NDVI obtidas confirmam que a variação de doses de fertilizante nitrogenado afeta significativamente a expressão do sintoma “carijó” e o desenvolvimento das plantas de algodoeiro.

Grisham et al. (2010) utilizaram o sensoriamento remoto hiperespectral com o objetivo de diferenciar folhas de duas cultivares de cana-de-açúcar infectadas com o vírus do amarelecimento foliar da cana-de-açúcar – *Sugarcane Yellow Leaf Virus* (ScYLV) e de plantas assintomáticas. Imagens hiperespectrais mostraram que a reflectância foliar foi eficaz em predizer a infecção viral em 73% das folhas analisadas nas duas cultivares. As diferenças espectrais foram observadas na região ultravioleta (220-320nm); violeta e azul (400-500nm); laranja, verde e amarelo (500-590nm), vermelho (590-650) e infravermelho próximo (740-850), sendo que todas as regiões foram importantes para diferenciar as plantas assintomáticas infectadas e não infectadas.

REIS et al. (2006) identificaram a relação entre a radiação solar refletida do trigo com a intensidade de ocorrências de doenças nas plantas por meio de espectrorradiômetro.

MENEGATTI E SILVA (2010) estudando lavouras de cana de açúcar observaram que a planta sofreu diversas injúrias quando infestadas com nematóides. Com essa infestação, a planta sofreu dano (reduções) em seu sistema radicular e, conseqüentemente, isso alterou a estrutura da planta em geral, incluindo a folha, fazendo com que este fenômeno possa ser identificado por meio da imagem de satélite que, neste caso, obteve maior reflectância.

Na cultura da soja, o sensoriamento remoto vem sendo menos aplicado, por não apresentar uma resposta direta em intervenção. Por outro lado, vem sendo estudado para usar em diagnóstico na variabilidade nos índices vegetativos e a partir dessa variabilidade buscar as causas.

5.3 Nematóides

Nematóides são vermes de tamanho microscópico, geralmente não visíveis a olho nu e parasitam raízes da soja e outras plantas. Causam dano na maioria das culturas, dependendo do nível de infestação e da espécie. Segundo EMBRAPA (2010), existem mais de 100 espécies de nematóides que causam danos à cultura da soja no mundo. No RS as espécies que causam maior dano são os Nematóides de Galhas (*Meloidogyne javanica*, *M. Incognita* e *M. Arenaria*) e do cisto (*Heterodera Glycinis*).

Os nematóides conseguem se deslocar muito pouco no solo, e somente na fase inicial (J2), quando vão em busca das raízes para infestar. Porém, na forma de cisto, contendo vários ovos de nematóides, podem ser transportados pelas operações agrícolas, máquinas que se deslocam de um lugar para outro, animais, água, até mesmo podem ficar aderidos em sementes e serem transportados a longas distâncias e infectar áreas que não apresentavam nenhuma contaminação. Esses cistos podem sobreviver no solo por longo período, quando as condições são adversas à eclosão. Em condições favoráveis, eclodem gerando novos indivíduos, que num período de 24 a 30 dias podem gerar novos descendentes (FERRAZ, 2001).

O plantio direto tem aumentado a população, diversidade, maturidade e prolificidade dados nematóides no solo (OKADA e HARADA, 2007).

Para a elaboração de um plano de controle eficiente, com rotação de culturas e variedade resistentes, é fundamental conhecer a distribuição espacial e identificação das espécies de nematóides.

5.3.1 *Meloidogyne sp*

Também chamado como nematoide de galhas, é o nematóide de fácil diagnose devido ao sintoma que desenvolvem nas raízes. As galhas permitem a identificação a olho nu da presença do nematoide.

Segundo NUNES (2010) os nematóides de galhas representam um dos principais problemas da soja, estão amplamente distribuídos no estado do RS, perdas de 10 a 40% têm sido registradas em locais que apresentam solos médio-arenosos. Estima-se que em 23% das propriedades do estado do Mato Grosso tenham ocorrência do nematóide das galhas (RIBEIRO, 2008).

Nas raízes, que se desvitalizam e param de crescer, as galhas e rachaduras são visíveis. Algumas vezes há formação de raízes laterais curtas, mas a formação das galhas, de tamanhos variáveis, constitui-se no aspecto mais visível.

As lavouras apresentam manchas ovais, as reboleiras, e as plantas apresentam-se raquíticas e suas folhas tornam-se carijó.

O ciclo vital inicia com os ovos que são depositados pela fêmea numa matriz gelatinosa, a "ooteca", que os protege. São colocados de 400 a 500 ovos, podendo atingir o tamanho do corpo da fêmea. O desenvolvimento embrionário resulta na formação de uma larva. A primeira transformação ocorre no interior do ovo, ao eclodir já é a larva J2 (juvenil de segundo estágio), que irá procurar uma raiz para alimentar-se, guiada pelos exsudados da planta. A J2, vermiforme penetra próximo à capa protetora da raiz movendo-se para o interior da planta. As primeiras penetrações do estilete são acompanhadas de secreções que causam um crescimento das células, levando à formação das "células gigantes" nutridoras. Ao mesmo tempo, uma intensa multiplicação celular causa o aumento das raízes, formando as galhas. As larvas sofrem mudanças, dando origem às formas J3 e J4 e, finalmente, aos adultos, machos e fêmeas. A duração do ciclo é extremamente variável para cada espécie de *Meloidogyne*, dependendo principalmente da temperatura (25 dias a 27°C), além da susceptibilidade da planta hospedeira e das condições químicas e físicas do solo (FERRAZ, 2001).

Os principais hospedeiros da *Meloidogyne javanica* são a soja, aveia preta, pé-de-galinha, nabo forrageiro, girassol, cana-de-açúcar, feijoeiro, caupi, mandioca e arroz. Da *Meloidogyne incognita*: soja, aveia preta, milheto, pé-de-galinha, nabo forrageiro, girassol, milho, sorgo, algodoeiro, cana-de-açúcar, feijoeiro, mandioca e arroz.

A disseminação é feita por material vegetal infectado, mudas enraizadas e solo aderido às máquinas e implementos. Águas de chuva e irrigação também podem transportar larvas.

5.3.2 *Heterodera glycines*

O nematóide do cisto é muito comum em todas as regiões do Brasil, é o nematóide que tem maior capacidade de causar perdas que são da ordem de 10 a 30% em locais com baixa infestação (1 a 10 cistos viáveis em 200cm³ de solo) até 70% nos locais com mais de 20 cistos viáveis por 200cm³ de solo.

O uso de cultivares resistentes é a medida mais eficaz para o controle do nematóide do cisto da soja. Porém, o cultivo da mesma cultivar em grandes áreas pode provocar pressão de seleção de raças, uma vez que o nematóide do cisto apresenta grande variabilidade genética (EMBRAPA, 2008). BALDWIN e MUDO_OCAMPO (1991) relataram que dois a quatro cultivos consecutivos de uma cultivar resistente foi suficiente para provocar uma quebra de resistência .

O nematóide de cisto se aloja nas raízes da planta dificultando a absorção de água e nutrientes, em consequência as plantas podem apresentar sintomas de desnutrição, mesmo que o solo esteja com teores dos nutrientes adequados. Assim nas áreas onde o nematóide está presente, é comum observar-se manchas na lavoura (reboleiras) com plantas pequenas, amarelas, com poucas vagens ou mortas. Esses sintomas podem aparecer inicialmente na entrada das lavouras onde o maquinário da fazenda inicia o trabalho.

O ciclo de vida pode durar de 24 a 30 dias sob condições ótimas no verão. Consequentemente, duas a quatro gerações por safra são possíveis. Os juvenis do nematóide de cisto da soja, na forma de larva, eclodem dos ovos no solo quando há níveis adequados de temperatura e de umidade. A fase de juvenil é o único estágio da vida do nematóide capaz de infectar raízes da soja. Após ter penetrado nas raízes da soja, os juvenis movem-se dentro da raiz até encontrarem o tecido vascular, onde param de mover-se, perdem a maioria dos músculos de seu corpo, e começam a alimentar-se. Para alimentar-se os nematóides injetam as secreções que modificam algumas células radiculares, transformando-as nos locais de alimentação especializados (EMBRAPA, 2010).

Os nematóides apresentam um supercrescimento enquanto se alimentam. Geralmente, as fêmeas tornam-se tão inchadas que passam através do tecido da raiz, ficando expostas na superfície da raiz. Os nematóides masculinos, que não ficam inchados quando adultos, migram para fora das raízes e, no solo, fertilizam as fêmeas adultas, que ficam com parte do corpo exposta. Após a fertilização, os machos morrem, mas as fêmeas permanecem unidas às raízes e continuam a se alimentar. As fêmeas que tiveram o supercrescimento começam a produzir ovos, inicialmente em uma massa ou saco de ovos fora do corpo e mais tarde dentro da cavidade do corpo da fêmea. A cavidade inteira do corpo da fêmea adulta torna-se cheia de ovos, e a fêmea morre. É o corpo da fêmea cheio de ovos que é conhecido como cisto. Os cistos são desprendidos das raízes e se tornam livres no solo. As paredes do cisto tornam-se muito resistentes e fornecem a proteção excelente para os 200 a 400 ovos ali contidos. Os ovos do nematóide de cisto da soja sobrevivem dentro do cisto até que as circunstâncias se tornem apropriadas para eclodir. Esse período pode ser de até nove anos (SCHIMITT, RIGGS, 1991).

Os agentes de dispersão mais comuns são máquinas e implementos agrícolas, torrões de terra presentes na semente durante o transporte, sementes de braquiária colhidas em áreas anteriormente ocupadas por soja, nuvens de solo (poeira) formadas durante o preparo de solo convencional e a água da enxurrada. Os hospedeiros principais são a soja e o feijão (EMBRAPA, 2010).

5.4 Nutrição de plantas

O Brasil apresenta solos altamente intemperizados com baixos níveis de fertilidade. No RS, com pequenas exceções, a realidade não é diferente. Diante desse contexto, o cultivo de culturas comerciais como a soja exige utilização de corretivos e fertilizantes. A ferramenta mais utilizada para fazer recomendações de fertilizantes é a análise de solo (ROLAS, 2004).

Segundo RAIJ (1981) para que recomendações de adubação baseadas em análise de solo sejam eficazes são necessários vários processos: a) amostragem de solo representativa da área; b) ensaios de adubação; c) seleção de métodos eficientes de análise de solo; d) laboratórios capacitados; e) correlação entre teores no solo e respostas de culturas a nutrientes aplicados; f) estabelecimento de classes de teores de nutrientes; g) estabelecimento de níveis de adubação. ROLAS (2004) é a recomendação oficial vigente no RS.

No presente trabalho foi efetuada uma correção de solo baseada numa amostragem de solo usando as ferramentas de agricultura de precisão em gride de 2 ha. A recomendação foi efetuada baseada nas recomendações da ROLAS (2004) com alguns ajustes pela experiência agrônômica e interesse do produtor.

Foram coletadas paralelamente folhas para avaliação dos nutrientes absorvidos e avaliação de possível deficiência.

5.5 Compactação do solo

A compactação do solo é um processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada e muitas mudanças ocorrem na estrutura do solo (SOANE & OUWERKERK, 1994). Com o advento do plantio direto, a intensificação de cultivo, manejo, rotação de culturas e ausência de revolvimento do solo são situações que podem favorecer a compactação do solo.

SECCO (2003), estudando o efeito de estados de compactação em um Latossolo Vermelho distrófico e num Latossolo Vermelho distroférico, ambos

manejados sob sistema plantio direto, verificou que o estado de compactação mais intenso, com valores de densidade do solo de 1,62 e 1,54 Mg m⁻³ e de resistência à penetração de 2,65 e 3,26 MPa, proporcionou decréscimos na produtividade do trigo de 18,35 e 34,05 %, respectivamente. Na cultura do milho, somente no Latossolo Vermelho distroférico houve diferença significativa em relação aos outros estados de compactação, onde esse nível de compactação propiciou decréscimo de 24,3 % e, na cultura da soja, esses estados de compactação não propiciaram decréscimos na produtividade, em ambos os Latossolos.

Foram feitos testes de resistência à penetração nos locais de estudo no intuito de identificar se a compactação mostra correlação com os índices de vegetação encontrados.

5.6 População de plantas

A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre a planta, o ambiente de produção e o manejo. As práticas de manejo, a época de semeadura, a escolha da cultivar, o espaçamento e a densidade de semeadura são fatores que influenciam o rendimento da soja e seus componentes da produção MAUAD et al. (2010).

A soja é conhecida pela sua capacidade de compensar deficiência de estande de plantas com maior engalhamento. No presente estudo, foi feita a contagem de plantas nos locais de estudo para correlacionar com os índices de vegetação.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Localização Geográfica e características de solo e clima

O estudo foi realizado no município de Tupanciretã, coordenadas (28°58'15.85"S e 53°50'10.18"O), localizado na região Fisiográfica do Planalto médio, altitude média é de 508 m acima do nível do mar.

Solo da área experimental é um Argissolo, bem drenado. Na classificação de KOEPPEN, 1948, o clima é CFa, caracteriza-se pela ausência de estação seca com precipitação média anual de 1789mm.

O estudo foi realizado em uma área com alta variabilidade no índice vegetativo. A área experimental foi selecionada pelo depoimento do proprietário relatando a presença de nematóides.

A área experimental teve os níveis de fertilidade corrigidos pelo processo de agricultura de precisão antes da corrente safra, onde a saturação de bases foi corrigida a 80%, níveis de fósforo para teor alto (ROLAS 2004) e o potássio foi elevado a 4% na CTC (capacidade de troca de cátions). O teor de matéria orgânica médio é de 2,1%. O solo apresenta teor de argila de 19,5%. O solo é profundo bem drenado.

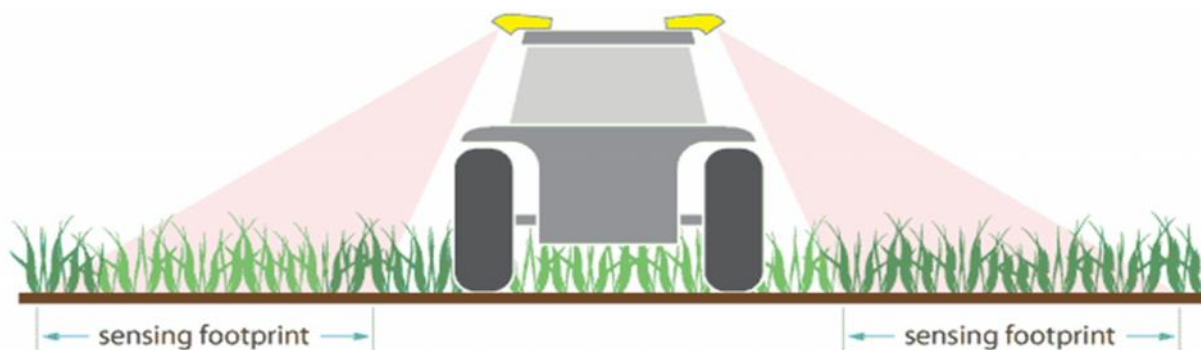
O experimento foi conduzido em área comercial de produção de soja durante dois cultivos. A variedade de soja semeada em 2011/12 foi a 5909 Nidera, 16 de novembro e em 2012/13 foi a Vtop10 Syngenta dia 05 de novembro. Com densidades de plantio 18 e 16 grãos por metro linear respectivamente. O tratamento de semente utilizado foi com Standak top 1ml/kg, COMO da Stoler 1,5 ml/kg, Nobrico 1,5 ml/kg, inoculante 2 ml/ha, Vitavax tiran 2ml/kg, nas duas safras e na safra 2012/13 foi adicionado IMIDACROPID 700 1,5ml/kg. A produtividade alcançada foi de 25 sc/ha em 2011/12 e o regime pluviométrico foi de, 66mm em novembro, 25mm dezembro, 62 janeiro, 96mm fevereiro e 65 março. Na safra 2012/13 em novembro foi de 65mm, dezembro 487mm, janeiro 223mm, fevereiro 96mm e março 156mm e a produtividade alcançada foi de 55 sc/ha.

6.2 Leitura com sensor ativo

As leituras foram feitas nos dias 27 de fevereiro de 2012 e 4 de fevereiro de 2013. O registro da leitura do sensor ativo foi feito em um intervalo aproximado de 5 metros.

Foram utilizados dois equipamentos de leitura, que ocorria simultaneamente e é calculado um valor médio entre os dois. Foi acoplado em um pulverizador a uma altura de 4 m do solo, direcionados um para cada lado do equipamento a um ângulo de 55 graus. A leitura foi feita juntamente com aplicação de inseticida e fungicida. A leitura foi feita na frente da aplicação da calda e o equipamento tem uma largura de operação de 27m.

Figura 1. Ilustração da posição do sensor ativo no equipamento e a área de leitura.



6.3 Definição dos locais de coleta

6.3.1 Coleta em 2012

Em 2012 os locais de coleta de solo e folhas para análise foram baseados numa topo sequência contemplando diferentes altitudes, sendo coletados 21 pontos, um a cada passada de pulverizador, conforme Figura 2.

6.3.2 Coleta em 2013

Em 2013, com intuito de fazer as coletas de amostras em locais com maior variabilidade de índice vegetativo, foi feito a soma das leituras do sensor ativo (2409 leituras) e foi dividido em 5 intervalos, com igual número de leituras (482 leituras) em cada intervalo. Ficando assim estabelecidas as classes: muito baixo (MB) com índice do sensor ativo até 37,42; a classe baixa (B) até 43,28; a classe média (M) até 48,20; a classe alta (A) até 53,28 e a muito alta (MA) maior que 53,28. Na alocação dos pontos, foi sobreposto um círculo com raio de 30 metros sobre duas linhas de leitura do sensor ativo o qual incorporava 10 a 12 leituras (Figura 2). Foram estabelecidos 25 pontos de coleta, 5 em cada classe. Buscou-se que mais de 50% das observações do índice do sensor ativo fossem da classe de interesse. Para fazer a média de leitura de cada ponto, utilizou-se as 4 observações centrais de cada círculo.

6.4 Coleta de amostras para análise

As amostras de solo para análises de nematóides, análise química do solo, assim como, amostras de folhas também foram coletadas nos círculos alocados sobre as linhas. As amostras para análise de solo foram coletadas de 0-10 cm de profundidade com 10 subamostras, com auxílio de trado tipo calador, somente na safra 2011/12. As amostras para análise de nematóides foram coletadas 0-20 cm de profundidade com 5 subamostras, com auxílio de pá de corte. Logo após a coleta, as amostras para análise de nematóides foram acondicionadas em caixas de isopor evitando o aquecimento das mesmas e a morte dos nematóides. Essas coletas foram realizadas nas duas safras.

As amostras de folha foram coletadas no florescimento, 40 trifólios, no primeiro trifólio completo do ápice para baixo e foram realizadas somente na safra 2011/12.

6.5 Levantamento de dados de compactação

Para as leituras da resistência à penetração, foi utilizado um medidor eletrônico de resistência à penetração do solo (PLG 1020 – Fabricante Falker). As leituras foram feitas no ano de 2013 juntamente com a coleta das amostras de solo para análise de nematóides. Em cada local, foram feitas 4 sondagens de até 40 cm de profundidade. Foram calculados valores médios das 4 repetições a cada 5 cm.

6.6 Dados de declividade

Os dados de altitude foram armazenados juntamente com a leitura do sensor ativo, sendo que são oriundos do sistema RTK (Real-time Kinematic) acoplado no equipamento de pulverização para direcionamento automático do mesmo. A partir dos dados de altitude, foram calculados os índices de declividade utilizando o software SPRING. O levantamento foi realizado na safra 2012/13.

6.7 Número de plantas

Foram contados em 4 locais de cada ponto de amostragem 2 metros lineares para obtenção do número de plantas por metro linear. A contagem foi feita na safra 2012/13.

6.8 Metodologias de análise

Amostras de solo foram secas a 65 graus, moídas e analisadas segundo metodologia descrita por Tedesco (1995).

Amostras de folhas foram secas a 60 graus moídas em moinho de tecido e analisadas conforme metodologia descrita por Embrapa (2000).

Para extração dos nematóides, 100cm³ de solo foram suspensos em 2L de água e homogeneizados, com posterior passagem em peneiras de aberturas consecutivas de 0,84mm, 0,075mm e 0,025mm. Em seguida da clarificação por meio do método de flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964) e conservação em solução de formalina (formaldeído a 4%). Para determinar a abundância de nematóides nas amostras, o número total foi estimado pela contagem em câmara de Peters sob microscópio ótico, avaliando-se 1 mL da suspensão com os nematóides extraídos.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 podemos observar os resultados das análises do solo dos locais de estudo. Pode-se observar que os principais nutrientes estão com teores de médios a muito altos (ROLAS 2004). Não foi encontrada nenhuma relação com NDVI e os teores no solo.

Tabela 1. Resultados das análises de solo dos pontos em estudo. Março 2012. Santa Maria, RS.

Am	pH	SMP	MO	Argila	Al	Ca	Mg	P	K	S	Cu	Zn
			-----%-----	-----Cmolc. cm ⁻³ -----	-----Mg.dm ⁻³ -----							
1	5,7	6,6	2,5	14,0	0,0	3,3	1,2	51	144	4,9	1,0	2,5
2	5,6	6,4	1,9	20,0	0,0	2,6	1,1	26,7	128	10,7	0,8	1,8
3	5,8	6,3	2,3	24,0	0,0	2,9	1,3	25,1	105,6	6,3	0,9	2,0
4	6,7	6,9	2,2	22,0	0,0	4,9	1,7	47	137,6	14,0	0,4	1,6
5	6,5	6,8	2,3	23,0	0,0	4,7	1,8	58,6	134,4	5,6	0,2	1,5
6	5,7	6,3	2,4	21,0	0,0	2,8	1,4	10,9	89,6	6,2	1,1	5,0
7	5,8	6,4	2,2	20,0	0,0	2,9	1,2	14,5	99,2	3,4	1,0	3,9
8	5,5	6,3	2,0	36,0	0,0	2,1	0,8	10,9	115,2	5,8	1,3	4,0
9	5,9	6,6	2,1	38,0	0,0	3,2	1,4	26,7	76,8	6,7	0,9	4,8
10	5,7	6,3	1,8	17,0	0,0	2,4	0,9	32,8	96	3,0	1,6	4,1
11	5,7	6,1	1,5	15,0	0,0	2,1	0,8	10,3	92,8	4,5	1,8	2,0
12	6,0	6,5	2,5	16,0	0,0	2,7	1,1	27,5	99,2	2,5	1,3	6,5
14	5,8	6,5	2,2	20,0	0,0	2,5	1,1	9,1	86,4	5,1	1,7	2,5
15	5,8	6,6	1,7	15,0	0,0	2,8	1,2	9,1	89,6	3,0	1,4	2,8
16	5,7	6,4	1,6	14,0	0,0	2,0	0,8	4,3	57,6	6,8	1,6	2,1
17	5,6	6,4	1,7	15,0	0,0	2,0	0,8	5,6	58	6,7	1,5	2,1
18	5,8	6,6	2,1	18,0	0,0	3,2	1,5	15,1	108,8	2,2	1,3	1,6
19	5,6	6,6	2,1	19,0	0,0	3,3	1,6	25,1	80	3,6	1,1	2,3
20	5,6	6,4	2,2	21,0	0,0	3,4	1,6	39,9	169,6	5,0	1,1	2,2
21	5,8	6,7	2,3	13,0	0,0	3,5	1,7	49,7	128	2,7	1,1	2,1
Media	5,8	6,5	2,1	19,5	0	3,0	1,2	25,0	104,8	5,4	1,2	2,9

Na tabela 2, estão apresentados os resultados das análises do tecido foliar. Assim como, no solo não foi encontrada relação significativa entre teores de nutrientes nas plantas com os índices de massa. Anamari et al. (2012), encontrou relação com índice de massa e nutrição do algodoeiro com N. Povh et al (2007) utilizaram o sensor ótico para auxiliar na nutrição de N no trigo. Pontelli (2006), quando agrupou locais em médias, observou que a fertilidade teve baixa correlação com a produtividade.

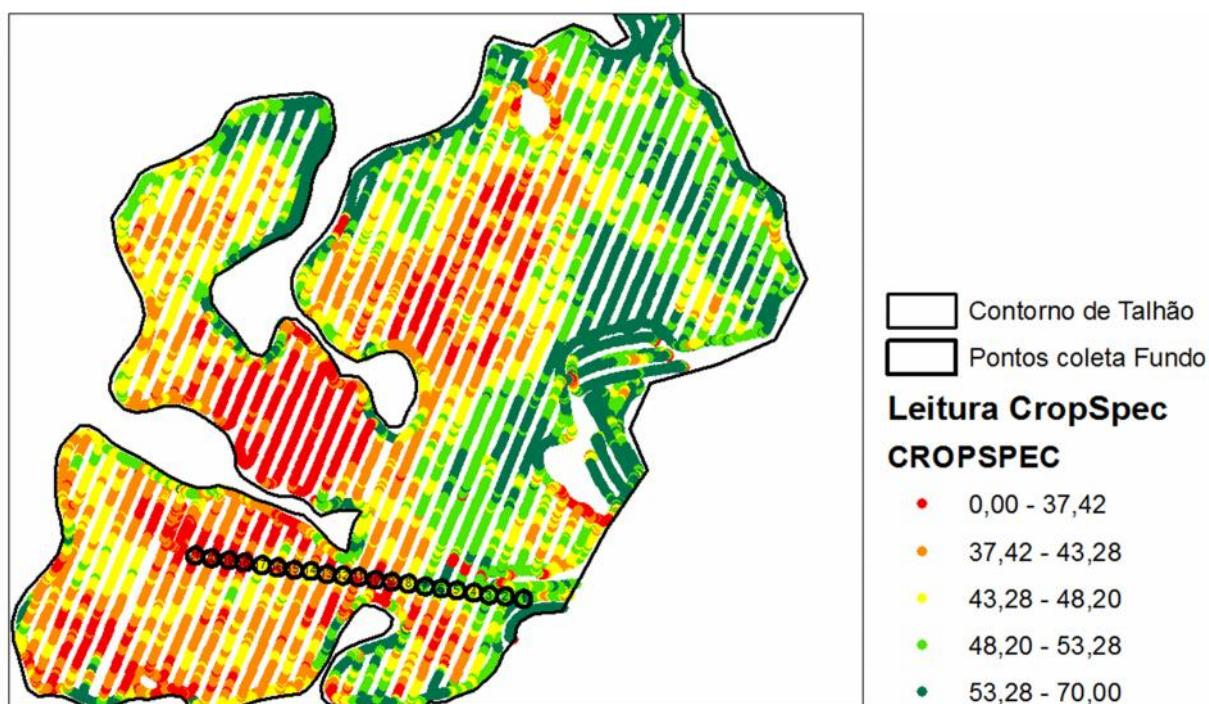
Tabela 2. Resultados das análises de folha dos pontos em estudo. Março 2012. Santa Maria.

Amostra	N	g.dm ⁻³				mg.dm ⁻³							Sensor Ativo
		P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
1	39	2,9	12,6	7,8	2,2	2,6	27,2	7,1	106	260	13	52,0	
2	40	3,1	10,5	8,1	2,4	2,7	26,1	7,1	132	201	15	50,1	
3	42	2,7	10,5	7,2	2,4	2,4	30,9	7,2	116	161	10	50,5	
4	38	4,2	7,6	9,7	3,3	2,6	29,3	7,2	112	238	6	46,2	
5	43	3,8	7,1	9,3	2,7	2,1	28,2	6,4	220	163	6	47,3	
6	39	3,6	12,6	7,6	3,2	2,4	23,4	7,3	120	130	11	51,3	
7	42	2,1	10,5	7,2	2,8	2,7	37,3	7,6	121	147	11	50,5	
8	38	2,6	9,7	7,4	3,3	2,7	36,7	6,3	114	186	14	44,6	
9	41	2,3	8,4	8,9	1,8	2,5	29,3	5,9	103	166	12	37,0	
10	43	2,4	7,6	7,6	2,0	2,1	40,5	6,2	93	157	12	34,7	
11	40	2,1	8,4	8,7	3,2	1,9	33	5,9	144	203	10	36,8	
12	39	2,3	13,4	7,6	3,2	2,3	35	6,8	123	188	13	40,9	
13	44	1,8	9,2	8,1	2,6	1,9	29,8	5,8	111	141	13	41,7	
14	42	2,1	13,9	6,8	2,9	1,6	24,5	6,6	127	134	15	42,8	
15	39	2	9,2	7,9	3,0	2,1	25,6	5,4	94	109	9	39	
16	37	2,2	10,5	7,2	3,2	2,2	29,3	4,9	103	112	7	39,5	
17	41	2	10,9	7,0	2,5	1,8	30,9	4,7	125	132	8	42,6	
18	39	1,9	8,4	7,1	2,4	1,7	27,2	6,2	243	103	11	38,2	
19	40	2,1	11,3	7,2	2,9	1,7	28,2	6,5	124	92	10	33,0	
20	42	2	13,4	6,7	3,5	1,9	31,4	5,8	119	116	14	36,7	
21	44	2	16,4	6,6	2,6	2,1	29,3	5,9	119	120	16	35,5	
Media	40,6	2,5	10,6	2,8	7,7	2,2	28,5	6,3	127	155,5	11,7	42,5	

Nas figuras 2 e 3 estão apresentadas as leituras com o sensor ativo. Na figura 4 (a) podemos observar os valores das leituras do sensor ativo 2012 e 2013 nos 25 pontos definidos em 2013. Pode-se observar um comportamento semelhante na maioria dos pontos nos dois anos em estudo. Algumas exceções podem ser observadas como o ponto 3 que em 2012 apresentou um valor baixo, sendo que em 2013 foi selecionado como pertencente a faixa muito alto. Por outro lado, temos o

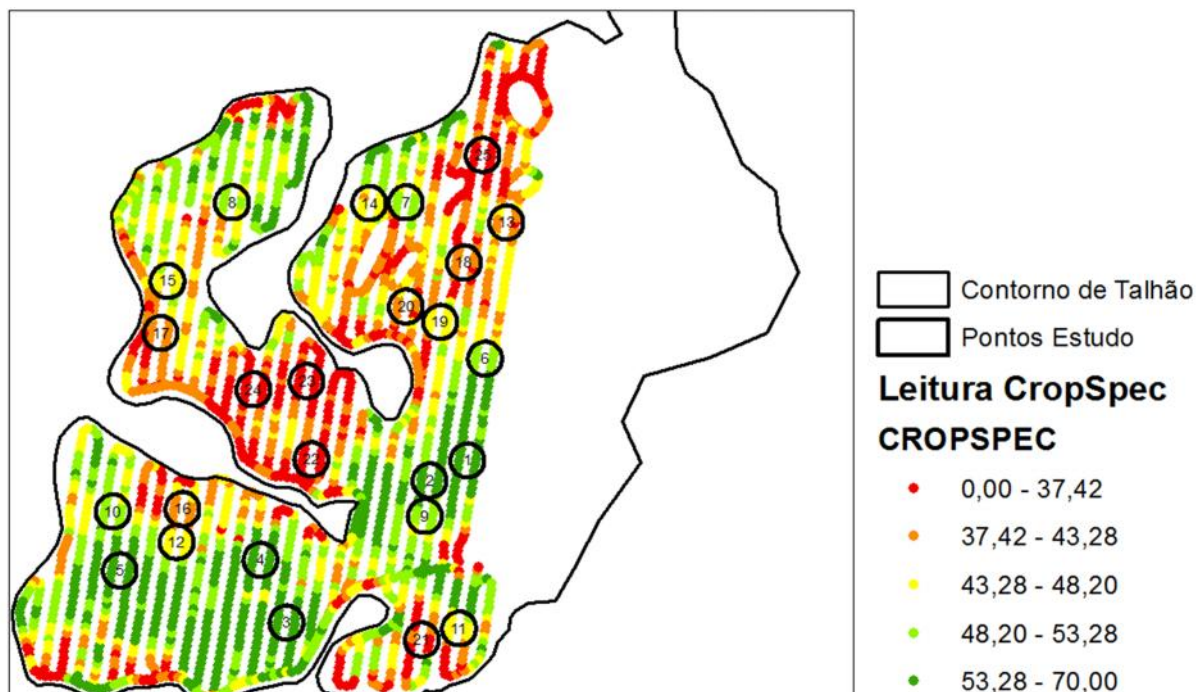
ponto 25 que em 2012 apresentou um valor bem alto, sendo classificado em 2013 como classe MB. MOLIN (2002) recomenda de 3-5 safras para definir zonas de potencial produtivo e que podem ser de alto, médio e baixo potencial e instáveis, que não apresentam comportamento semelhante ao longo dos anos.

Figura 2: Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (*Glycine max*) safra 2011/2012 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2012.



Na tabela 3, podemos observar as correlações entre as análises de nematóides dos locais em estudo e os índices das diferentes ferramentas de sensoriamento remoto. Não foi encontrada nenhuma correlação significativa. Santos JUNIOR et al. (2002) encontraram correlações significativas negativas entre NDVI e *H. glycines* no solo. No entanto, relataram que havia locais amostrados que não correspondiam com a maioria, onde baixos níveis de infestação apresentaram baixos índices de NDVI, relatando que essas amostras pertenciam a locais contíguos, sugerindo que outros fatores pudessem estar envolvidos além do ataque de *H. glycines*. Alston et al. (1993) relataram também efeito aditivo entre ataque de nematóides, infestação de invasoras a ataque de pragas, ocasionando dano maior em relação ao ataque isolado de nematóides.

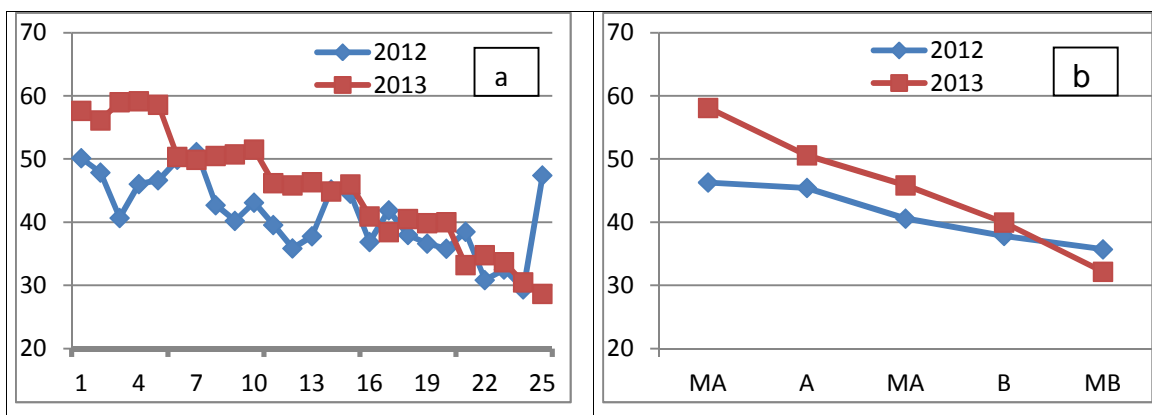
Figura 3: Mapa da variabilidade das leituras do sensor ativo na cultura da soja (*Glycine max*) safra 2012/2013 e localização dos pontos amostrais, Santa Maria, 2013.



Na tabela 4 são apresentados as correlações dos levantamentos realizados em 2013. Com a alteração da metodologia de definição dos locais de amostragem, pode ser observada alguma correlação entre o índice de NDVI do sensor ativo e algumas variáveis avaliadas. A correlação entre a população de nematóides e o NDVI foi baixa. Por outro lado, quando se fez médias por faixas de índice do sensor ativo (Figura 5), começou a ser observada uma correlação, ainda não significativa, mas que leva ao entendimento de que a infestação de nematóides também está auxiliando na determinação dos índices.

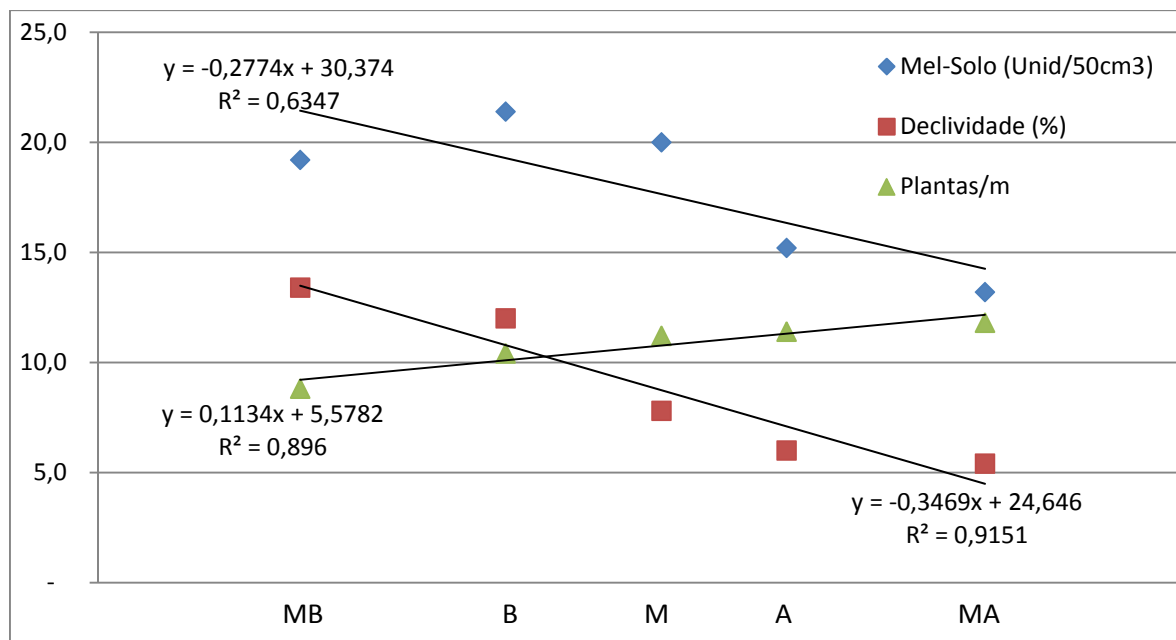
A declividade do solo apresentou alta correlação com os índices do sensor ativo, assim como o número de plantas por metro linear (Figura 5 e Tabela 4). Os resultados indicam que a germinação e/ou o estabelecimento de plantas foi afetado pela declividade. As altas precipitações no mês de dezembro também prejudicaram o estabelecimento das plantas. Esses fatores desfavorecem o uso do sensoriamento remoto para identificação de infestações de nematóides. Os resultados indicam que nas declividades maiores o cuidado no plantio deve ser maior para o favorecimento da germinação das sementes e o estabelecimento das plantas.

Figura 4. Leituras do sensor ativo 2012 e 2013(a) e médias por faixa (b). Santa Maria, 2013.



Comparando os valores médios por faixas, se percebe o comportamento semelhante nos dois anos. Onde nos maiores potenciais (MA, A, M) em 2013 apresentou valor maior de NDVI o que pode ser atribuído ao déficit hídrico elevado que ocorreu em 2012. CUNHA (2004) encontrou diferença com utilização de irrigação e sem irrigação no NDVI do Capim Tanzânia. Na faixa MB, apresentou valor de NDVI maior em 2012 em relação a 2013. Esse resultado pode ser atribuído ao baixo estande de plantas na safra de 2013, não sendo observado compensação pelo crescimento das plantas.

Figura 5. Correlações lineares entre as faixas de leituras do sensor ativo com numero de Meloidogyne no solo, com declividade do terreno e números de plantas por metro linear. Safra 2012/2013, Santa Maria, 2013.



Quando foi feita a correlação entre as médias por faixa dos índices de vegetação e a declividade, a correlação chegou a 91%, mostrando a importância do número de plantas na quantidade de massa produzida. TRAGNAGO (2011) observou aumento no número de vagens por m^2 , aumentando a população de 10 para 40 plantas por m^2 .

As correlações entre a resistência à penetração e o índice de vegetação em todas as profundidades foram baixas (Tabela 4).

Tabela 3: Matriz de correlação de Pearson, Santa Maria, 2012

	Sensor Ativo	NDVI Spot	Mel-Raiz	Het-Raiz	Mel-Solo	Het-Solo
Sensor Ativo	1	0,888	0,096	- 0,355	- 0,206	0,246
NDVI Spot	0,888	1	- 0,181	- 0,184	- 0,341	0,130
Mel-Raiz	- 0,096	- 0,181	1	- 0,121	- 0,103	0,011
Het-Raiz	- 0,355	- 0,184	- 0,121	1	- 0,155	- 0,093
Mel-Solo	- 0,206	- 0,341	- 0,103	- 0,155	1	0,660
Het-Solo	0,246	0,130	0,011	- 0,093	0,660	1

Tabela 4: Matriz de correlação de Pearson, Santa Maria, 2013.

Pearson	CropSpec	Mel-Solo	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	Declividade	Plantas/m
CropSpec	1	-0,316	0,468	0,325	0,443	-0,016	-0,250	-0,736	0,719
Mel-Solo	-0,316	1	-0,303	-0,061	-0,214	-0,203	0,114	0,433	- 0,414
5 cm	0,468	-0,303	1	0,717	0,268	-0,062	-0,060	-0,373	0,414
10 cm	0,325	-0,061	0,717	1	0,349	-0,015	-0,039	-0,216	0,138
20 cm	0,443	-0,214	0,268	0,349	1	0,607	0,269	0,338	0,273
30 cm	-0,016	-0,203	-0,062	-0,015	0,607	1	0,520	-0,024	-0,062
40 cm	-0,250	0,114	-0,060	-0,039	0,269	0,520	1	0,040	-0,197
Declividade	-0,736	0,433	-0,373	-0,216	-0,338	-0,024	0,040	1	-0,849
Plantas/m	0,719	-0,414	0,414	0,138	0,273	-0,062	-0,197	-0,849	1

8 CONCLUSÕES

O sensor remoto ativo é capaz de identificar áreas com diferentes índices de massa.

Déficit hídrico prolongado reduz o NDVI da soja. O crescimento da soja não consegue compensar estande de plantas muito baixo.

Teores de nutrientes no solo, nas folhas e níveis de resistência à penetração não auxiliaram no entendimento dos diferentes índices de vegetação.

O levantamento dos índices de massa deve ser acompanhado de levantamentos a campo para diagnóstico dos fatores da variabilidade.

Médias por faixas do índice de vegetação do sensor ativo apresentou correlação com a infestação de nematóides, mostrando que os mesmos também são causadores da heterogeneidade da lavoura.

9 REFERÊNCIAS

ALSTON, D.G., SHMITT, D.P., BRADLEY JUNIOR, J.R. & COBLE, H.D. **Multiple pest interactions in soybean: effects on *Heterodera glycines* egg populations and crop yield.** Journal of nematology 25:42-49, 1993.

ASSUNÇÃO, G.V. FORMAGGIO, A.R. **O sensoriamento remoto na Agricultura: conceitos básicos, metodologias e aplicações.** São José do Campos: INPE: 1989. 217p.

BALDWIN, J.G., MUNDO-OCAMPO, M. **Heteroderinea, cyst and non-cyst forming nematodes.** In: NICKLE, W.R. **Manual of agricultural nematology.** New York, Marcel Dekker, 1991, p.275-362.

BRAGAGNOLO, J; AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.S.; JASPER, J.; KUNZ, J. & TEIXEIRA, T.G. **Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I. Plant nutrition and dry matter production.** R. Bras. Ci. Solo, 37:1288-1298, 2013.

BRAGAGNOLO, J., T.J.C. AMADO, R.S. NICOLOSO, A.L. SANTI, J.E. FIORIN, AND F.M. TABALDI. **Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: II. Indices of fertilizer efficiency and corn yield.** R. Bras. Ci. Solo. 37:1299-1309. doi:10.1590/S0100- 06832013000500019, 2013b.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2013/14.** Disponível em www.conab.gov.br Acesso em junho 2014.

CUNHA, C. A. H., **Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio.** Tese doutorado, Piracicaba, SP, 2004.

DANIELSENA, S.; MUNK, L. **Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew.** Crop Protection. v. 23, p. 219–228, 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **CIRCULAR TÉCNICO Nº 6 Métodos de análise de tecidos vegetais.** 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil – 2009 e 2010.** Londrina, Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 262p., 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Nematoides e soja: Identificação e Controle.** Circular Técnico 76, Londrina, PR, 2010.

FERRAZ, L.C.C.B. **As Meloidogynoses do soja: passado, presente e futuro.** In FERRAZ, L.C.C.B. et al. Relações parasita-hospedeiro nas meloidogynoses da soja. Londrina: EMBRAPA/SOCIENDE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 2001, p. 15-38.

GARCIA, A., SILVA, J.F.V., PEREIRA, J.E. & LANTMANN, A.F. **Interação entre população de Heterodera clycines e o pH do solo.** Nematologia Brasileira, 21 (1): 4. 1997.

GRISHAM, M.P., JOHNSON, R.M., ZIMBAB, P.V. **Detecting Sugarcane yellow leaf virus infection in asymptomatic leaves with hyperspectral remote sensing and associated leaf pigment changes.** Journal of Virological Methods. v. 167, p.140–145, 2010.

JENKINS, W.R. 1964. **A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil.** Plant Dis. Repr., v.48 (9): 692p.

LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Photo Interpretation.** 3rd ed. John Wiley & Sons: New York. 750p. 1994.

LIPPERT, D.B., BENEDETTI, A.C.P., PEREIRA, R.S., MUNIZ, M.F.B. **Espectrorradiometria de folhas de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. atacadas por Phaeophleospora eucalypti**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPI, p. 2793-2799.

MARCHIORATO, I.A. **Mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtidos por satélites como instrumentos auxiliares às decisões sobre o manejo de nematóides na cultura de soja**. Jaboticabal, SP, 2008. 55p (Tese de Doutorado).

MARTINS, G.D., GALO, M. DE L.B.T., **Detecção de áreas infestadas por nematoides e migdolus fryanus em cultura canavieira a partir de imagens multiespectrais rapideye**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N^o 66/2, p. 285-301, Mar/Abr, 2014.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; NETO, A.I.A.; ABREU, V.G. **Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja**. Revista Agrarian Dourados, v.3, n.9, p.175-181, 2010.

MENEGATTI, S.; SILVA, J. **Nematóides em Cana-de-açúcar**. Biblioteca digital centro canagro “José Coral”. Disponível em: <http://www.cana.com.br/biblioteca/cartilha_praga/nematoides.pdf>. Acesso em: 15 Set. 2012.

MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Engenharia Agrícola, v.22, p.83-92, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4.ed. atual. E ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2011.

MOTOMIYA, A.V.A., BALLAMINUT, C.E.C., MOLIN, J.P.; CHIAVEGATO, E.J.; ACHEVARRIA, P. B.; COLACO, A. F. **Determinação da intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio por meio de um sensor óptico ativo**. In: VI Congresso Brasileiro do Algodão. Uberlândia, MG, 2007.

NOVO, E.M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo. Edgard Blucher. 1989. 308p.

NUNES, H.T.; MONTEIRO, A.C.; POMELA, A.W.V. **Uso de agentes microbianos e químico para o controle de Meloidogyne incognita em soja.** Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v. 32, n. 3, p. 403-409, 2010

OKADA, H., HARADA, H. **Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field.** Applied Soil Ecology, v.35, p.582-598, 2007.

PONTELLI, C.B., **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão.** Dissertação de mestrado. Santa Maria, RS, 2006.

PONZONI, F.J. **Comportamento espectral da vegetação.** P. 157-199. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001, 262p.

REIS, E. M., LEITES, A.; FORCELINI, C.A. **Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância da radiação solar e rendimento de grãos na cultura do trigo.** Embrapa, 2010.

REYNOLDS, G.J., WINDELS, C.E., MACRAE, I.V., LAGUETTE, S. **Hyperspectral remote sensing for detection of rhizoctonia crown and root rot in sugarbeet.** <http://www.sbreb.org/research/plant/plant08/HyperspectralRemote>. Data da consulta: 02 de agosto de 2010

RIBEIRO, N.R. **Nematoides e sua implicação na agricultura.** in 2º Ciclo de Palestras da Aprosmat, Sorriso, Campo Novo do Parecis, Rondonópolis e Canarana, 8 a 13/09/2008.

SANTOS JUNIOR R.F., SANTOS, J.M., RUDORFF, B.F.T. & MARCHIORATO, I.O. **Detecção de Heterodera glycines em plantio de soja mediante espectroradiômetro no visível e infravermelho próximo.** Fitopatologia Brasileira 27:355-360. 2002.

SCHMITT, D.P., and R.D. RIGGS. **Influence of selected plant species on hatching of eggs and development of juveniles of *Heterodera glycines*.** Journal of Nematology 23:1-6, 1991.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)

SILVA, A.J. DA, CANTERI, M.G., SANTIAGO, D.C., HIKISHIMA, M., SILVA, A.L. DA. **A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja.** Summa Phytopathologica, v. 35, n. 1, p. 53-56, 2009.

SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. **Soil compaction problems in world agriculture.** In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van, eds. Soil compaction in crop production. Netherlands, Elsevier, 1994. p.01-21.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TRAGNAGO, J. L.; STECKLING, C.; ROCKENBACH, D.; RUBIN, D. H. **efeito da combinação densidade de semeadura e tipo de crescimento sobre o rendimento de grãos e características agronômicas de cultivares de soja.** XVI Mostra de iniciação científica. Cruz Alta, RS, 2011.