

IDENTIFICAÇÃO DE FERRUGEM NA SOJA POR MEIO DE SENSORES MULTIESPECTRAIS

Bruno Henrique Tondato Arantes¹, Leticia Tondato Arantes², Cristina Tondato³

¹Discente da Universidade Federal de Uberlândia, bhtondato@gmail.com

²Discente da Universidade Federal de Uberlândia, letondato@gmail.com

³Faculdade de Tecnologia de Jales e Doutoranda em Geografia – Campus de Presidente Prudente, cristina.tondato@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Atualmente a soja é o principal gerador de divisas cambiais para o Brasil entre as culturas de grãos. Porém, essas lavouras são constantemente atacadas por doenças foliares como a ferrugem, que provocam perdas significativas nos índices de produtividade. Logo, para tentar mitigar ou mesmo resolver problemas relacionados à infecção por patógenos, ultimamente, vem-se buscando o desenvolvimento de novas técnicas capazes de detectar a sua ocorrência crescente. Nesse contexto, já existem estudos realizados com o *spectroradiometer* para a identificação da doença, os quais se mostraram eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: Soja. Ferrugem. Sensor Multiespectral.

ABSTRACT

Currently soy is the main generator of foreign exchange for Brazil among the grain crops. However, these crops are constantly attacked by leaf diseases such as rust, causing significant losses in productivity. Thus, in order to try to mitigate or even to solve pathogen infection-related problems lately, developing new techniques has been sought to detect their increasing occurrence. In this context, there are already studies conducted with the spectroradiometer for disease identification, which proved efficient.

KEYWORDS: Soy. Multispectral Sensor. Rust.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da soja é de suma importância para a economia e para o agronegócio brasileiro, uma vez que ela tem importante peso na geração de divisas cambiais para o Brasil. A lavoura de soja representa cerca de 49% da área plantada em grãos no país, sendo a cultura agrícola que mais cresceu nas três últimas décadas em território nacional (MAPA, 2016).

No atual cenário agrícola, o aumento da sua produtividade é determinante, e está essencialmente ligado aos avanços tecnológicos e às técnicas de manejos eficientes aplicadas pelos produtores rurais. No entanto, mesmo sobre a eficiência das atuais tecnologias e do constante acompanhamento da saúde da cultura, as lavouras de soja ainda são constantemente atacadas por doenças foliares, que conseqüentemente provocam uma queda nos índices de produtividade.

Para tentar mitigar ou mesmo resolver problemas relacionados à infecção por patógenos, atualmente, vem-se buscando o desenvolvimento de novas técnicas capazes de detectar a sua ocorrência crescente. Nesse contexto, os dados obtidos pelo Sensoriamento Remoto Orbital são cada vez mais utilizados para identificar a ocorrência de doenças foliares na cultura de soja,

facilitando a identificação de áreas infectadas em casos onde o espaço a ser monitorado é extenso. Além do mais, o uso das imagens orbitais para fins de mapeamento e monitoramento de culturas tem-se mostrado cada vez mais eficiente, uma vez que os sensores são capazes de detectar doenças que não podem ser notadas por meio de uma rápida e simples investigação visual *in situ* (MARTINS, 2013).

O controle da ferrugem na soja é difícil e oneroso, requerendo um sistema contínuo de monitoramento dessa praga para que se possa obter redução de perda e prevenir o surgimento de novos focos. Logo, com os problemas ambientais que os defensivos agrícolas vêm causando e as implicações geradas pelos valores dos produtos agrícolas, tornou-se, de suma importância, detectar a ocorrência da doença em pontos específicos da lavoura, aplicando os produtos químicos somente nos locais necessários (MARTINS, 2013).

As imagens orbitais são indispensáveis para que se possa quantificar e qualificar as lavouras. Por meio desse recurso, tornou-se possível o acompanhamento e o monitoramento de doenças, bem como sua identificação de forma pontual, além de ser útil o sensoriamento remoto para a determinação de área plantada e de produtividade da cultura.

No sensoriamento remoto tem-se uma crucial ferramenta para a identificação da saúde da lavoura, o espectro eletromagnético. A partir das respostas espectrais captadas pelos sensores, é possível estimar o dano causado pela doença e identificar o local de ocorrência.

Como exemplo de pesquisa neste contexto, (Cui et al., 2009), através de um *spectroradiometer*, identificou que a ferrugem na soja é facilmente percebida no comprimento de onda do infravermelho próximo, sendo possível, neste intervalo espectral, caracterizar os diferentes níveis de severidade da infecção.

Cabe ressaltar que será discutido nos referenciais teóricos a capacidade de se identificar por meio de sensores multiespectrais as áreas com incidência de ferrugem na soja, seja por meio do índice de cor do pixel ou através de outras técnicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

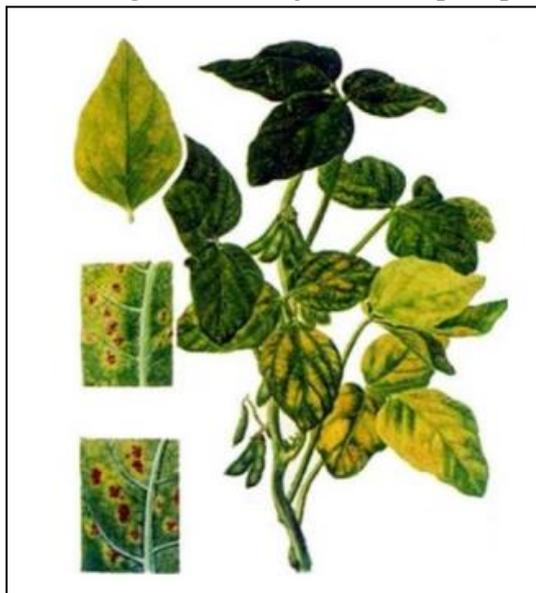
2.1 Sensores multiespectrais aplicados à cultura da soja

A ferrugem da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais destrutivas para a produção do grão, provocando muitas vezes perdas significativas no rendimento e uma rápida disseminação de uma lavoura para a outra, por meio de uredinósporos dispersos no ar (CUI et al., 2009).

Tem sido relatado que o patógeno tem provocado perdas de 10% a 40% na Tailândia, de 10% a 90% na Índia, 10% a 50% no sul da China, 23% a 90% no Taiwan e de 40% no Japão. A doença foi detectada pela primeira vez nos Estados Unidos, no ano de 2004 e tem se espalhado por todo o continente americano nos estados produtores, impondo a busca por um meio de controle rápido e eficaz, por meio de técnicas capazes de diagnosticar a área atingida para a aplicação de fungicidas, minimizando as perdas causadas pela ferrugem na lavoura (CUI et al., 2009).

Assim, como as doenças foliares, a ferrugem da soja também apresenta como sintomas típicos lesões que variam de 2 a 5 milímetros quadrados, indo desde a clorose (folhas com um tom de amarelo) até manchas arredondadas com uma cor marrom escuro (Figura 1). A princípio, a ferrugem tem sua origem na parte inferior das folhas, espalhando-se posteriormente para o topo, e, finalmente, para todas as folhas e superfície da planta infectada. Tais características da ferrugem, tem tornado possível sua identificação por meio de imagens orbitais coletadas através de sensores multiespectrais (CUI et al., 2009).

Figura 1: Estágios da doença causada pelo patógeno



Fonte: CUI et al., 2009

De forma tradicional, a identificação da ferrugem da soja pode ser dada por experientes patologistas de vegetais, ou mesmo por diagnosticadores de doenças de plantas, que com uma experiência de um olho treinado pode diagnosticar a maior parte das doenças em campo e fazer recomendações de controle com a aplicação de fungicidas. Mas com a chegada da tecnologia orbital com diferentes sensores espectrais tem sido desenvolvida formas de detecção automática de algumas doenças em algumas culturas (CUI et al., 2009).

Apesar da tecnologia de sensores multiespectrais passarem a ser aplicadas na agricultura, ela era, muitas vezes, limitada devido à falta de uma resolução espacial adequada para a detecção de sintomas da doença ainda precoce, mesmo quando o comprimento de onda de reflectância do dossel da cultura infectada estava dentro do intervalo de bandas disponibilizadas pelo sensor orbital. Em contrapartida, os grandes números de bandas espectrais acopladas aos sensores poderiam permitir uma grande capacidade de monitoramento do estágio da doença em diversas culturas, quando utilizada uma escala de análise adequada (CUI et al., 2009).

O RapidEye (sensor REIS – *RapidEye Earth Imaging System*), possui sensores capazes de serem aplicados à agricultura. Ele é formado por uma constelação de cinco satélites, os quais foram lançados em 28 de agosto de 2008. Cada um dos satélites é composto por um sensor multiespectral acoplado e possui cinco canais, sendo capaz de reproduzir, sob um mesmo ponto, imagens diárias de 12 bits, com resolução espacial de até 5 metros (Tabela 1).

Dentre as cinco bandas, a Red-Edge é específica para o monitoramento da atividade fotossintética da vegetação, permitindo a separação de espécies e o monitoramento da saúde de diversas culturas. Além disso, ela permite que os administradores de uma fazenda identifiquem focos de pragas num estágio inicial, quando elas atingem apenas uma pequena parte da plantação, mesmo que ainda nem sejam visíveis a olho nu (FELIX; KAZMIERCZAK; ESPINDOLA, 2009).

Tabela 1. Características RapidEye

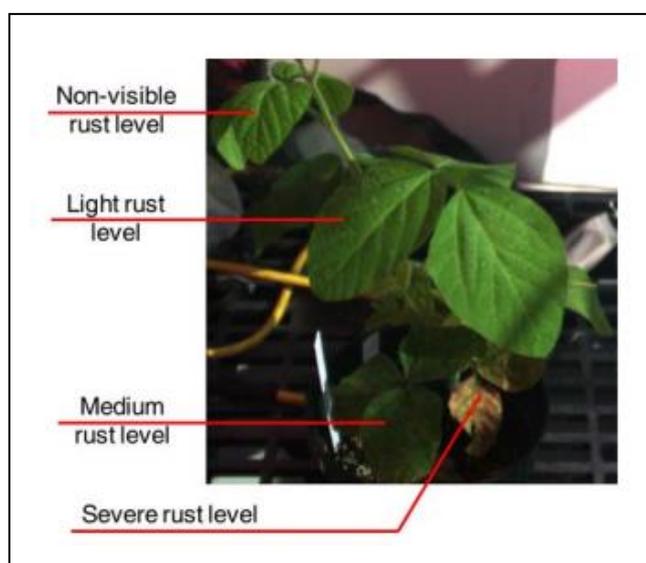
Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada	Resolução Radiométrica
REIS (RapidEye Earth Imaging System)	Azul	440 - 510 nm	6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens	24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir)	77,25 km	12 bits
	Verde	520 - 590 nm				
	Vermelho	630 - 690 nm				
	Red-Edge	690 - 730 nm				
	Infravermelho próximo	760 - 880 nm				

Fonte: EMBRAPA, 2013

2.2 Interações da Radiação Eletromagnética com a soja

Quando se busca desenvolver sensores ópticos para a detecção de doenças nas diversas culturas da agricultura, é de suma importância descobrir as bandas sensíveis às doenças a serem detectadas. Segundo alguns testes realizados com um conjunto de quatro níveis diferentes de ferrugem na soja (Figura 2), os diferentes níveis de severidade apresentam também distintas respostas quanto à reflectância (CUI et al., 2009).

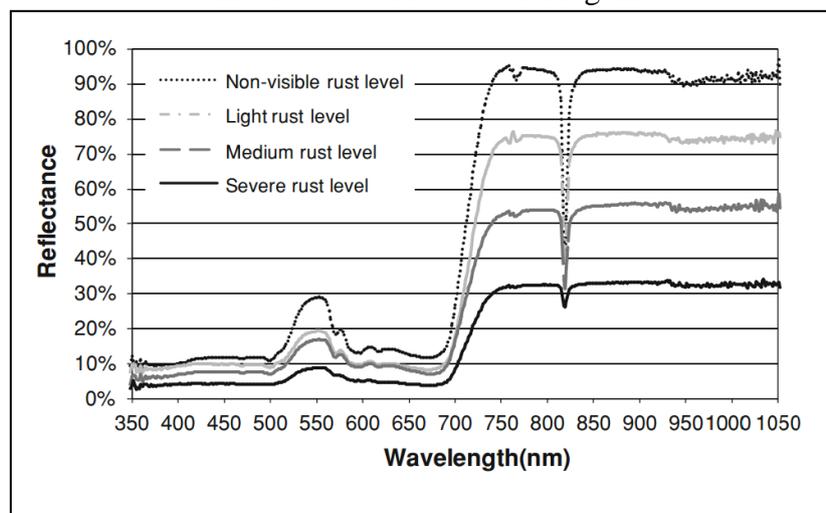
Figura 2: Quatro tipos de folhas com os diferentes níveis de severidade da ferrugem



Fonte: CUI et al., 2009

As maiores diferenças de reflectância dos diferentes níveis de severidade da ferrugem são mais evidentes na banda NIR (Infravermelho Próximo). Logo, quanto menor a severidade da infecção, maior a reflectância, como consta na figura 3 (CUI et al., 2009)

Figura 3: Comportamento espectral da reflectância de quatro folhas de soja com diferentes níveis de severidade da ferrugem



Fonte: CUI et al., 2009

Para que fosse possível avaliar a possibilidade de utilização de alguns índices de vegetação, os valores desses índices foram calculados para detectar a ferrugem da soja e seu grau de severidade. O índice de vegetação que mostrou alguns resultados satisfatórios quanto à correlação com a gravidade da doença foi o DVI. Porém, a pesquisa realizada não recolheu amostras suficientes para uma eliminação segura de outros atributos, tais como a saúde nutricional da cultura, sendo, portanto, necessário mais estudo quanto à técnica aplicada. (Tabela 2) (CUI et al., 2009).

Tabela 2. Valores de índices de vegetação correspondentes a diferentes níveis de infecção de ferrugem

Rust level	NDVI = (NIR-R) / (NIR+R)	GNDVI = (NIR-G) / (NIR+G)	NDG I= (G-R) / (G+R)	RVI=NIR/R	GRVI=NIR/G	DVI=NIR-R
Severe	0.79	0.58	0.4	8.72	3.72	0.24
Medium	0.77	0.53	0.41	7.67	3.22	0.37
Light	0.8	0.59	0.4	9.12	3.88	0.56
Non-visible	0.78	0.53	0.43	8.08	3.23	0.65

Fonte: CUI et al., 2009

2.3 Utilização do Índice de cor da lesão (LCI) para detecção da ferrugem

Para tentar desenvolver uma sistemática confiável de detecção da ferrugem por meio de uma análise multiespectral, utilizou-se a técnica do índice de cor da lesão (LCI) (CUI et al., 2009).

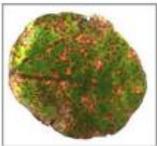
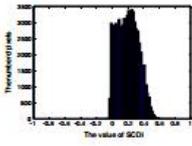
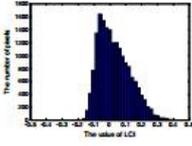
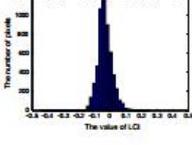
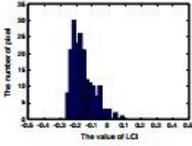
Quando a folha da cultura ou o dossel não apresentar a infecção por ferrugem, todos os pixels devem ter um valor negativo no LCI, resultando na distribuição do histograma LCI no lado esquerdo do centro de marcação do gráfico. No entanto, para uma folha severamente infectada, muitos pixels irão apresentar valores positivos, com uma distribuição para o lado direito do centro de marcação do histograma (Figura 11) (CUI et al., 2009).

Para os histogramas que apresentarem um nível médio de distribuição dos pixels em ambos os lados do centro de marcação do gráfico, pode-se inferir que a cultura apresenta um nível médio de severidade da ferrugem. (Figura 3) (CUI et al., 2009).

Logo o LCI consiste em uma operação aritmética de bandas, sendo ela representada pela seguinte expressão:

$$LCI = \frac{R-G}{\sqrt{R^2+G^2+B^2}}$$

Figura 3: Resultados para a detecção da ferrugem na soja

Rust level	Leaf image	LCI histogram	PMIA	RIA (%)	RSI
Severe			0	58.8	17.0
Medium			0	10.1	1.1
Light			8.1%	1.7	0.2
Non-visible			0	0.1	0.0

LCI lesion color index. *PMIA* powdery mildew infected area. *RIA* ratio of infected area. *RSI* rust severity index.

Contudo, esses resultados indicam que as características definidas pelo LCI, são técnicas capazes de identificar a ferrugem na soja e seu grau de gravidade com base nas imagens multiespectrais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as técnicas utilizadas para identificar os diferentes níveis de severidade da ferrugem na soja, o índice de cor da lesão foi aquele que se mostrou mais eficiente, apresentando o DVI um resultado adequado.

Apesar de toda esta pesquisa apresentar métodos positivos para a identificação do patógeno, para que as lavouras de sojas possam ser monitoradas de forma rápida e a doença foliar (ferrugem) identificada em pontos específicos, visando uma posterior aplicação de defensivos agrícolas somente nestes locais, é de suma importância que a metodologia aqui apresentada seja também aplicada em sensores orbitais já existentes.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, L. F. **Determinantes da expansão da soja transgênica no Brasil**. 2011. 64 f.. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, 2011.
- BENNO B. K. Anuário brasileiro da soja 2003. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2003.
- BONATO, A. L. V.; BONATO, E. R. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1987. 61 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documento, 21).
- CUI, D.; ZHANG, Q.; LI, M.; ZHAO, Y.; HARTMAN, G.L. Detection of soybean rust using multispectral image sensor. *Sens. Instrum. Food Qual. Safety* 2009, 3, 49-56.
- C.M. HEALD, W.J. THAMES, C.L. WIEGAND, Detection of *Rotylenchulus reniformis* infestations by aerial infrared photography. *Nematology* 4(4), 298–300 (1972).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A soja no Brasil. 2000. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja>>. Acesso em: 01 maio. 2016.
- FELIX, I, M.; KAZMIERCZAK, M, L.; ESPINDOLA, G, M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, n. 7619-7622, 25-30 de abril 2009.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Documentos Embrapa, Londrina, n. 349, 2014.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Soja. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>>. Acesso em: 01 mai. 2016.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balança Comercial. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>>. Acesso em: 02 mai. 2016.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT (Estatística de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro). Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat>>. Acesso em: 02 mai. 2016.
- MARTINS, G, D. Caracterização espectral e espacial de áreas infestadas por nematóides e *Migdolus fryanusem* em cultura canavieira. 2013. 117 f. Dissertação (Ciências Cartográficas) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2013.
- MOREIRA, M, L. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação: Sistemas Sensores*. INPE, 2001.
- SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 25 abril. 2016.
- ZULLO, JR. J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 204p, 19, 1994.