

## Determinação de regiões espectrais sensíveis a presença de agentes patógenos na cana-de-açúcar, caso ferrugem alaranjada e estria vermelha

Érika Akemi Saito Moriya<sup>1</sup>  
Nilton Nobuhiro Imai<sup>2</sup>  
Antônio Maria Garcia Tommaselli<sup>2</sup>  
Gabriela Takahashi Miyoshi<sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista-UNESP  
<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas  
Presidente Prudente- SP, Brasil  
{erikaasaito, takahashi.gabi}@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Cartografia - Unesp  
Presidente Prudente - SP, Brasil  
{nimai, tomaseli}@fct.unesp.br

**Abstract.** Diseases in crops can cause economic losses and decreased quality in the fall of production in agriculture, as in the case of sugarcane. The monitoring and research related to the conditions of the sugarcane are important to avoid economic losses in agroindustry. Radiometric measurements allow obtaining the estimate of damages caused by plant diseases in agriculture, based on spectral properties of plants and their behavior in response to pathogens. This study analyzed the spectral differences in leaves of sugarcane varieties grown in Brazil infected with different pathogens, and a sample of one infected with orange rust, one infected with red stripe and one sample on stage of senescence presenting necrosis. Moreover, the correlation coefficient between the healthy sample and others samples was calculated to identify sensitive spectral regions that allow distinguishing healthy plant between damaged plant. Samples of leaves of sugarcane infected with different pathogens as the sample in the senescence process showed spectral changes in the visible region and the near infrared. The information obtained from the correlation coefficients calculated between healthy leaf and infected leaf and leaf on stage of senescence helped to identify sensitive regions in spectra. The identification of the sensitive regions to changes in the presence of pathogens is important for setting up filters for the detection of diseases in images as well as the definition of more robust and refined index for the specific case of sugarcane.

**Palavras-chave:** spectral analysis, sugarcane, orange rust, red stripe, análise espectral, cana-de-açúcar, ferrugem alaranjada, estria vermelha.

### 1. Introdução

A cana-de-açúcar é originária do Oriente e foi levada para o sul da Itália, Espanha e Portugal pelos árabes e para as Américas Central e Sul pelos espanhóis e portugueses (GALLI et al., 1968). No Brasil, as primeiras mudas de cana-de-açúcar foram plantadas por Martim Afonso de Souza em São Vicente no ano de 1532 (IAC, 2008).

O cultivo generalizado, prolongado e em larga escala de uma única variedade de cana-de-açúcar contribuiu com a disseminação de problemas fitossanitários da lavoura canavieira, a ocorrência de epidemias levaram muitas vezes a agroindústria açucareira a ter grandes prejuízos (GALLI et al., 1968). As doenças nas plantas são a maior causa de perdas econômicas e produção na agricultura e na área florestal (SANKARAN et al., 2010).

No caso da cana-de-açúcar, até 1994 foram identificadas na cultura mais de 216 doenças, destas 58 foram encontradas no Brasil, e pelo menos dez possuem importância econômica para os produtores rurais (ROSSETO e SANTIAGO, 1994). Estas doenças podem ser causadas por fungos, bactérias e vírus, dentre estas doenças neste trabalho foram estudadas a ferrugem laranja ou alaranjada e a estria vermelha.

A ferrugem alaranjada é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*. No Brasil a ferrugem alaranjada chegou em 2009 sendo registrada no município de Araraquara. Até 2010 no Estado de São Paulo as variedades que apresentaram suscetibilidade à ferrugem alaranjada foram

RB72454, SP89-1115 e SP84-2025 e CV14 (MAPA, 2010; FERRARI et al., 2010). No entanto, a variedade SP 81-3250 que antes era considerada resistente à ferrugem alaranjada tem sido infectada pela mesma em canaviais na região de Minas Gerais (CHERUBIN, 2012).

De acordo com Ferrari et al. (2010) a ferrugem alaranjada pode ser uma potencial causadora de danos econômicos, pois afeta as folhas da cana-de-açúcar diminuindo a capacidade fotossintética o que contribui na redução da produção de sacarose. No primeiro surto registrado pela ferrugem alaranjada em 2000 na variedade Q124 na Austrália houve um prejuízo de 67% a 87% na produção (OLIVEIRA e MENDES, 2008).

De acordo com Sanguino (2012), a estria vermelha é causada por uma bactéria *Acidovorax avenae subsp avenae*. A doença se manifesta primeiro no limbo foliar com o aparecimento de estrias encharcadas que evoluem para necroses nos tecidos, tornando-se vermelhas, estreitas, longas e bem definidas acompanhando longitudinalmente todo o comprimento das folhas (ALMEIDA, 2010).

Em condições favoráveis a bactéria pode causar o apodrecimento do meristema apical do colmo, levando ao apodrecimento do interior do colmo, assim como o apodrecimento total do mesmo, gerando rachaduras que liberam um líquido de odor desagradável (ALMEIDA, 2010).

O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto baseada em medidas radiométricas tem sido adotada como método de detecção de doenças não-destrutivo em plantas (SANKARAN et al., 2010; MALTHUS e MADEIRA, 1993). O comportamento espectral das plantas em diferentes situações de cultivo constitui informação relevante quando usadas na elaboração de modelos de estimativa de danos. Assim, as medidas radiométricas podem auxiliar na estimativa de danos causados por doenças em culturas agrícolas (HIKISHIMA et al., 2010).

Diversos estudos na área de fitossanidade de plantas a partir de suas propriedades espectrais foram realizados existem exemplos como o feijão (MALTHUS e MADEIRA, 1993), o trigo (MUHAMMED, 2005), o tomate (JONES et al., 2010) e arroz (PRASANNAKUMAR et al., 2013). Na área de cana-de-açúcar Abdel-Rahman et al. (2010) realizaram um estudo em folhas de cana-de-açúcar com diferentes níveis de danificação e em duas variedades mais populares de cana-de-açúcar cultivadas na África do Sul a N19 e a N12, neste caso foram feitas medições espectrais que revelaram diferenças significativas, principalmente na região do visível onde se localiza a *red edge* que permitiu discriminar os diferentes níveis de danificação.

O manejo adequado de doenças é importante justamente por proporcionar vantagens diante da competitividade da agroindústria canavieira (ABDEL-RAHMAN e AHMED, 2008). Desse modo, o monitoramento das condições de fitossanidade da cana-de-açúcar é necessário, pois a presença de agentes patógenos podem causar sérios prejuízos na lavoura influenciando na redução da produção e perda da qualidade (APAN et al., 2004).

Com o intuito de estudar as propriedades espectrais da cana-de-açúcar neste trabalho buscou-se analisar as diferenças espectrais de folhas de cana-de-açúcar infectadas por diferentes agentes patógenos, sendo uma amostra de folha sadia, uma infectada com estria vermelha, uma infectada com ferrugem alaranjada e uma folha em estágio de senescência apresentando necroses. Além disso, foi calculado o coeficiente de correlação entre a folha sadia e as outras folhas para identificar regiões espectrais sensíveis que permitissem distinguir a planta sadia das folhas contaminadas com agentes patógenos e a folha em estágio de senescência.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para o estudo foram utilizadas amostras de folhas de cana-de-açúcar da variedade RB72454 infectada com ferrugem alaranjada, uma folha da variedade RB867515 infectada

com estria vermelha e duas folhas dessa mesma variedade sendo uma em estágio de senescência apresentando necroses e uma sadia (Figura 1) coletadas em áreas de cana-de-açúcar da Usina Ruelle Unidade Monte Rey no município de Ubarana-SP.



Figura 1: (a) folha sadia da variedade RB867515, (b) folha da variedade RB72454 infectada com ferrugem alaranjada, (c) folha da variedade RB867515 infectada com estria vermelha, e (d) folha em estágio de senescência da variedade RB867515.

A RB72454 é uma variedade da cana-de-açúcar que possui touceiramento médio, colmos eretos, empalhados, de diâmetro médio, cor verde clara e com mancha de cera escurecida, possui alto teor de sacarose, portanto alta produtividade agrícola (PMGCA, 2008). Já a RB867515 de acordo com PMGCA (2008) é uma variedade que possui alta velocidade de crescimento, porte alto, colmos eretos, apresentando cor verde arroxeadado, tolerante a períodos de seca, alta produtividade, no entanto, apresenta resistência intermediária a estrias vermelhas.

Foi selecionada uma amostra de folha de cana-de-açúcar contaminada com ferrugem alaranjada sendo coletada a amostra de nota nove, com estágio avançado de contaminação pela ferrugem alaranjada de acordo com a escala de diagnóstico estabelecido pela Coordenadoria de Fitopatologia do Centro de Tecnologia Copersucar (AMORIM et al., 1987; IAC, 2011).

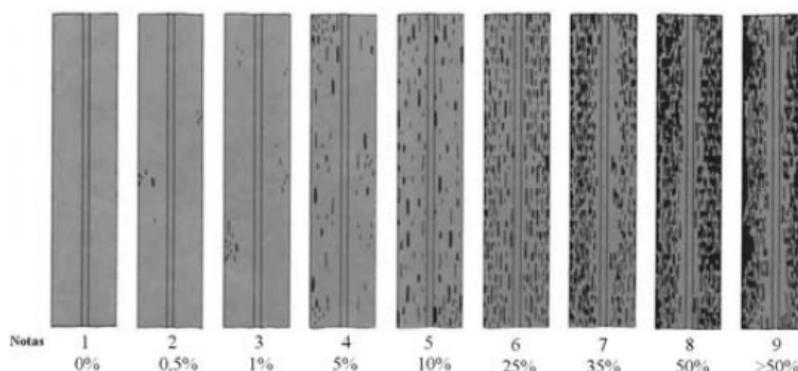


Figura 2: Escala de diagnóstico de folha estabelecida pela Copersucar.

O instrumento de medição espectral utilizado foi um espectrorradiômetro da FieldSpec® UV/NIR com FOV de 10° cobrindo uma faixa espectral de 325 nm a 1075 nm . Os alvos foram posicionados sobre um tecido preto de dimensão 3 metros x 3 metros de modo que na medição radiométrica não ocorresse interferência de elementos que estivessem em sua vizinhança. Para a calibração do espectrorradiômetro foi utilizada uma placa Spectralon.

Em cada amostra foram realizadas 10 medições espectrais com o espectrorradiômetro e analisada a curva espectral média, obtendo-se a estimativa do fator de reflectância hemisférico cônica (FRHC). Além disso, para minimizar os efeitos de ruídos provenientes da atmosfera e da eletrônica, aplicou-se um filtro de média móvel de tamanho 10 nas curvas originais de

FRHC, ou seja, com base na média de um conjunto de valores dentro da vizinhança de determinado intervalo de comprimento de onda. Desse modo, as curvas ficam com uma aparência mais suavizada.

Para identificar regiões espectrais sensíveis que permitam distinguir a folha sadia da doente foi determinado para cada comprimento de onda um valor de coeficiente de correlação sendo plotado um espectro de correlação baseado em Malthus et al. (1993); Jones et al. (2010); Prabhakar et al. (2011). Embora os autores desses trabalhos tenham determinado o coeficiente de correlação entre a porcentagem de infestação de uma mesma doença com a reflectância por comprimento de onda no presente trabalho será confrontada a folha sadia com as demais folhas contaminadas com ferrugem alaranjada, estria vermelha e em estágio de senescência.

A partir dos valores de coeficiente de correlação foram construídos gráficos relacionando coeficiente de correlação e comprimento de onda entre a folha sadia *versus* ferrugem alaranjada, estria vermelha e folha em estágio de senescência.

### 3. Resultados e discussões

A partir das curvas espectrais (Figura 3) observa-se que, em geral, as curvas apresentaram feição típica da vegetação, atenuando apenas na região em torno do pico de 550 nm (região do comprimento de onda da luz verde) no caso das amostras com presença de necrose, ferrugem alaranjada e estria vermelha, atenuação esta decorrente da diminuição da presença de clorofila nas folhas. Nessa mesma região a amostra de folha de cana-de-açúcar com ferrugem alaranjada apresentou os menores valores de FRHC, pois apresentava menor vigor que as outras amostras analisadas como pode ser observado na Figura 1.

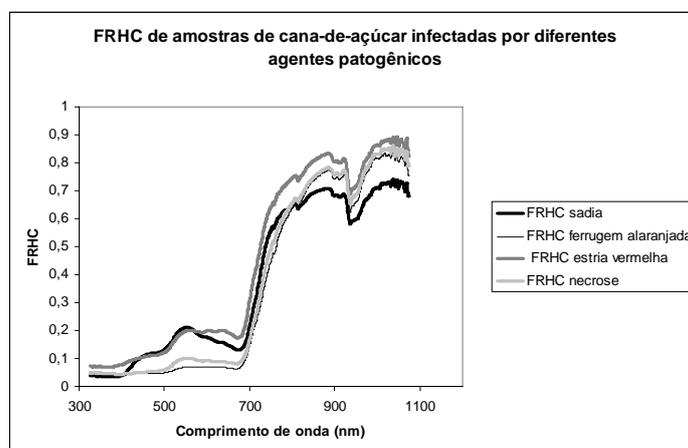


Figura 3: FRHC de amostras de cana-de-açúcar infectadas por diferentes agentes patogênicos.

No intervalo de 535 nm a 700 nm as amostras com presença de necrose, ferrugem alaranjada e estria vermelha apresentaram feições parecidas diferenciando-se apenas na intensidade do FRHC, acredita-se que seja uma região interessante para se diferenciar a planta sadia das plantas com algum tipo de alteração, seja por decorrência de origem patogênica ou então pelo estágio de senescência.

O FRHC da amostra com estria vermelha apresentou os maiores valores em quase todo intervalo de comprimento de onda, exceto na região de 500 nm a 572 nm, onde a amostra de folha sadia apresentou resultados maiores. O que pode ser destacado também é que os maiores valores de FRHC da amostra com estria vermelha apresentaram-se mais elevados que das outras amostras nas regiões espectrais do azul, vermelho e no infravermelho próximo.

Na região espectral do visível de 400 nm a 700 nm a amostra infectada com ferrugem alaranjada foi a que apresentou menores valores de FRHC. Nessa região a energia é absorvida para a realização da fotossíntese. Das amostras analisadas esta é a que apresentava menor vigor, correspondendo então aos baixos valores espectrais encontrados. Com relação à região do infravermelho próximo todas as amostras apresentaram valores altos de FRHC, sendo que das amostras analisadas, a de folha sadia foi a que apresentou os menores valores.

A análise da curva de correlação das amostras de folha sadia *versus* folha contaminada com ferrugem alaranjada (Figura 4.a) permitiu encontrar menores valores de coeficiente de correlação nos seguintes comprimentos de onda: 371 nm ( $r = -0,002$ ), 385 nm ( $r = 0,006$ ), 910 nm ( $r = -0,02$ ), 934 nm ( $r = 0,009$ ), 1012 nm ( $r = -0,02$ ). Acredita-se que nas regiões onde os valores de  $r$  foram baixos seriam regiões em que seria mais fácil de identificar diferenças entre as folhas saudias e doentes. Além dessas bandas a partir da análise visual observou-se duas bandas que se destacaram localizadas em 405 nm ( $r = 0,838$ ) e 878 nm ( $r = 0,494$ ).

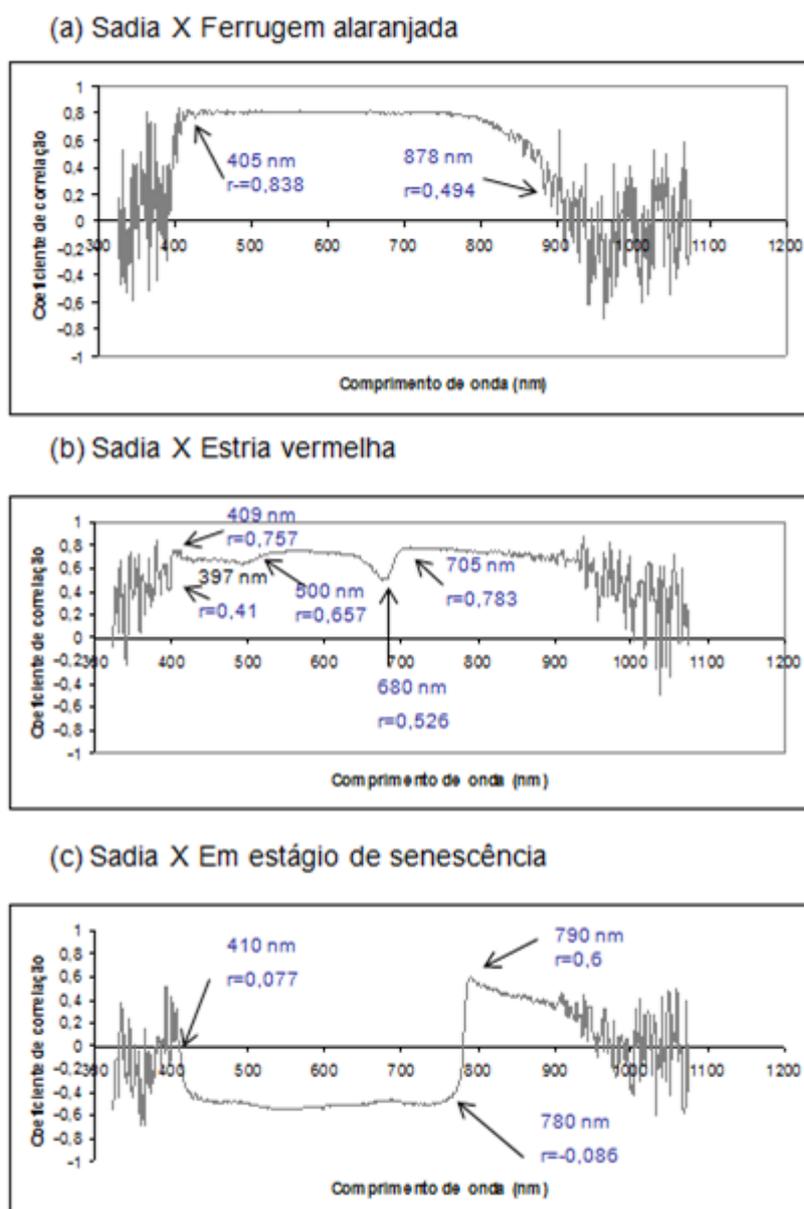


Figura 4: (a) Coeficiente de correlação entre folha sadia e folha contaminada com ferrugem alaranjada. (b) Coeficiente de correlação entre folha sadia e folha contaminada com estria vermelha. (c) Coeficiente de correlação entre folha sadia e folha em estágio de senescência.

Os coeficientes de correlação foram positivos na região próxima de 400 nm e 905 nm, mantendo-se pouca variação na região compreendida entre 405 nm e 815 nm, com um valor de coeficiente de correlação médio de 0,798, ou seja, um valor alto de correlação. No restante das regiões observou-se valores de coeficiente de correlação variando de negativos a positivos.

Os menores valores de coeficiente de correlação entre as amostras de folha sadia *versus* folha contaminada com estria vermelha (Figura 4.b) foram localizadas em: 325 nm ( $r = -0,0083$ ), 339 nm ( $r = 0,077$ ), 341 nm ( $r = -0,0041$ ), 992 nm ( $r = 0,083$ ), e 1047 nm ( $r = 0,065$ ). Foram encontradas também cinco bandas que se destacaram visualmente: 397 nm ( $r = 0,41$ ), 409 nm ( $r = 0,757$ ), 500 nm ( $r = 0,657$ ), 680 nm ( $r = 0,526$ ) e 705 nm ( $r = 0,783$ ). Prasannakumar et al. (2013) ao estudar as assinaturas espectrais de campos de arroz danificados por *brown planthopper* observaram uma mesma banda sensível aos efeitos de agente patogênico posicionada em 500 nm.

Na região espectral compreendida entre 343 nm a 1001 nm os valores de coeficiente de correlação foram positivos, fora desse intervalo os valores de coeficiente de correlação variaram entre positivos e negativos.

Observa-se que na região compreendida entre 400 nm a 650 nm e entre 705 nm e 815 nm houve pouca variação do coeficiente de correlação tanto para a sadia *versus* ferrugem alaranjada e sadia *versus* estria vermelha com valores próximos a 0,65 e 0,8.

Segundo Malthus e Madeira (1993) na região espectral do visível o espectro de correlação para a vegetação infectada por doenças apresenta áreas onde a reflectância no azul (470-500 nm) e vermelho (590-700 nm) possuem correlação positiva com as áreas de lesão da planta, indicando que o aumento na reflectância aumenta com o nível de infecção.

No caso da análise das amostras de folha sadia *versus* a folha em estágio de senescência foram observados menores valores de coeficiente de correlação nos seguintes comprimentos de onda: 410 nm ( $r = 0,007$ ), 954 nm ( $r = -0,003$ ), 970 nm ( $r = 0,003$ ), 984 nm ( $r = 0$ ), e 993 nm ( $r = -0,003$ ). A partir da análise visual da curva de correlação dois comprimentos de onda se destacaram localizadas uma em 780 nm ( $r = -0,086$ ) e outra em 790 nm ( $r = 0,6$ ). Na região compreendida de 425 nm a 760 nm a correlação além de ter sido negativa ela também não apresentou muita variação, apresentando valor médio em torno de -0,499, este valor representa baixa correlação.

Observa-se que no resultado apresentado na Figura 4.c houve uma diferença entre as curvas do espectro de correlação que antes nas Figuras 4.a e 4.b os valores de correlação estavam posicionados no eixo positivo já na Figura 4.c nesta mesma região (425 nm a 760 nm), os valores de coeficiente de correlação são negativos. Acredita-se que esta diferença nos coeficientes de correlação possa ser interessante na distinção da planta infectada com agente patogênico da planta em estágio de senescência.

#### 4. Conclusões

As amostras de folhas de cana-de-açúcar contaminadas com os diferentes agentes patogênicos como a amostra em processo de senescência apresentaram alteração espectral na região do visível e no infravermelho próximo.

A informação obtida a partir dos coeficientes de correlação calculados entre a folha sadia e as folhas infectadas com agentes patogênicos e em estágio de senescência permitiram identificar regiões sensíveis que permitissem diferenciá-las. A identificação das bandas sensíveis a mudanças diante da presença de agentes patogênicos é importante para a configuração de filtros para a detecção de doenças em imagens, bem como a definição de índices mais refinados e robustos para o caso específico da cana-de-açúcar. Denota-se a importância de se realizar estudos complementares para verificar a validade das regiões espectrais identificadas neste trabalho.

## Agradecimentos

A aluna agradece ao Grupo Ruelle Agroindustrial, Unidade Monte Rey, em Ubarana pelo importante apoio na coleta das medições radiométricas em campo especialmente à Rosiane de Souza gerente corporativo de recursos humanos, Leonardo Augusto Camargo e Fabrício Benaducci, e à CAPES pelo auxílio em forma de bolsa de doutorado.

## Referências

- ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. Hybrid*) production: a review of the literature. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, n.13, p. 3753-3767, 2008.
- ALMEIDA, I. M. G. Doenças causadas por fungos. **In: DINARDO-MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010, 882 p. (ISBN: 978-85-855564-17-9)
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C. O. N.; MORAES, V. A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim técnico Copersucar**. São Paulo: Cooperativa Central dos produtores de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, 1987, p.13-16.
- APAN, A.; HELD, A. PHINN, S.; MARKLEY, J. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. **International Journal of Remote Sensing**. v.25, n.2, p. 489-498, 2004.
- CHERUBIN, N. Bom para umas, ruim para outras. **Idea News cana & indústria**. Ano 11, n. 142, setembro de 2012, p. 20-30.
- FERRARI, J. T.; HARAKAVA, R. DOMINGUES, R. J. TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. São Paulo: APTA-Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. Documento técnico 005, p.1-8, 2010. (ISSN 1983-134X).
- GALLI, F.; TOKESHI, H.; CARVALHO, P. C. T.; BALMER, E; KIMATI, H.; CARDOSO, C. O.; SALGADO, C. L. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas e seu controle**. São Paulo: Biblioteca Agrônômica Ceres, 1968, 640 p.
- HIKISHIMA, M. CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; SILVA, A. J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de reflectância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical plant pathology**, v. 35, n. 2, 2010, p.96-103.
- IAC, Instituto Agrônomo de Campinas. **Ciência da Terra: O Instituto Agrônomo e a pesquisa em benefício da qualidade de vida**. Organizado por MOREIRA, A. C.; CASTRO, O. M. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, 160 p.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Rural pecuária: informações, tecnologias e manejo das principais culturas e criações**, 2011. Disponível em: <<http://www.ruralpecuaria.com.br/2011/06/ferrugem-alaranjada-da-cana-de-acuca.html>>. Acesso em: janeiro de 2012.

JONES, C. D.; JONES, J. B.; LEE, W. S. Diagnosis of spot of tomato using spectral signatures. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.74, 2010, p.329-335.

MALTHUS, T. J.; MADEIRA, A. C. High resolution spectroradiometry: Spectral reflectance of Field bean leaves infected by *Botrytis fabae*. **Remote Sensing of Environment**, n. 45, 1993, p.107-116.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni*)**. 2010, 12 p.

MUHAMMED, H. H. Hyperspectral crop reflectance data for characterising and estimating fungal disease severity in wheat. **Byosystems Engineering**, v.91, n.1, 2005, p. 9-20.

OLIVEIRA, I. C. S; MENDES, M. A. S. **Puccinia kuehni, um risco para a cultura de cana-de-açúcar no Brasil**. Comunicado técnico-184, Brasília: Embrapa, 2008, 5 p. (ISSN 9192-0099)

PMGC- Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar do CCA/Ufscar. **Varietades RB**. São Carlos: UFSCAR, 2008. 31 p.

PRABHAKAR, M.; PRASAD, Y. G.; THIRUPATHI, M.; SREEDEVI, G.; DHARAJOTHI, B.; VENKATESWARLU, B. Use of ground based hyperspectral remote sensing for detection of stress in cotton caused by leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae). **Computers and Electronics in Agriculture**, n.79, 2011, p.189-198.

PRASANNAKUMAR, N.M.; CHANDER, S.; SAHOO, R.N. Spectral signatures of rice crop damaged by brown planthopper under field and glass house conditions. **Current Biotica**,v.7, n. 3, 2013, p. 124-133. (ISSN 0973-4031).

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. Doenças da cana-de-açúcar e seu controle. **Informações agronômicas**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, n.67, 1994, 2p. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/InformacoesAgronomicas\\_67ID-fdwBc3usO9.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/InformacoesAgronomicas_67ID-fdwBc3usO9.pdf)>. Acesso em: dezembro e 2011.

SANGUINO, A. **As principais doenças da cana-de-açúcar**. Ribeirão Preto: IAC, Curso à distância Tópicos da Cultura de cana-de-açúcar, 2012, 22 p.

SANKARAN, S.; MISHRA, A.; EHSANI, R.; DAVIS, C. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 72, 2010, p.1-13.