

INTELIGÊNCIA DOS SATÉLITES COMO SUPORTE NO MONITORAMENTO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

Anderson Antônio da Conceição Sartori¹
Diego Augusto de Campos Moraes²

Sensoriamento Remoto em geral refere-se à medição de energia eletromagnética emitida ou refletida pela superfície da Terra usando uma câmera ou sensor. A aplicação desta tecnologia para a agricultura faz uso de uma ampla gama de instrumentos, a partir de câmeras suspensas no ar por sensores montados em satélites em órbita.

A abordagem fornece informações agronômicas valiosas sobre manejo do solo, salinidade e estado dos nutrientes na planta. O desenvolvimento de métodos de Sensoriamento Remoto levou a melhor compreensão de como as mudanças de reflectância da folha ocorrem em resposta à espessura da folha, características de dossel, idade da folha e estado de água. Absorção de clorofila nas folhas, em vários comprimentos de onda, fornece a base para a medição de reflectância tanto com radiômetros típicos de sensores multiespectrais, nas plataformas de satélite atuais ou sensores hiperespectrais que medem a reflectância em faixas muito estreitas (AHAMED et al., 2010).



¹ Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias – NEPGEO. Professor do Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade do Sagrado Coração (USC) – Bauru - SP.
E-mail: sartori80@gmail.com.

² Professor da Faculdade Eduvale - Avaré – SP. E-mail: die.gomoraes45@gmail.com.

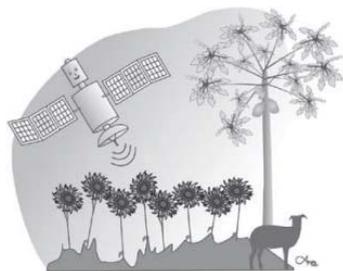
O objetivo principal do Sensoriamento Remoto na agricultura é delinear e caracterizar zonas homogêneas de manejo para aperfeiçoar a gestão agrícola como adubação, irrigação ou outras operações agrotécnicas (FRANZEN et al., 2002; DE BENEDETTO et al., 2013; YAN et al., 2007). Modernas produções agrícolas dependem do monitoramento próximo do estado das culturas. Isto permite uma gestão eficiente dos recursos disponíveis para obter lucratividade com práticas agrícolas sustentáveis (THENKABAIL et al., 2012).

Investigações de Sensoriamento Remoto nos canaviais são geralmente relacionadas à classificação e mapeamento (RUDORFF; SUGAWARA, 2007), manejo da cultura (FIORIO et al., 2000; YANG et al., 1997; WIEGAND et al., 1996) e estimativa da produtividade (PICOLI et al., 2009). No entanto, a maioria dos estudos limitam-se a classificação e caracterização da produtividade e não são utilizados para delinear zonas homogêneas de manejo em Agricultura de Precisão. Estas Zonas de Manejo são definidas como subáreas onde se espera que os efeitos sobre a cultura das diferenças sazonais de clima, solo, manejo etc., sejam uniforme (LARK, 1998).

Para produzir uma avaliação precisa e custo eficaz em termos de variação espacial, na escala exigida pela Agricultura de Precisão, há uma demanda crescente para a aquisição rápida, relativamente barata e não invasiva de informações do solo e planta em escala precisa. Os altos custos para amostragem tradicional do solo e análises laboratoriais de plantas sugerem a necessidade de dados espectrais que podem detectar condições irregulares e fornecem evidências de que uma anomalia está presente em cada local do campo (ADAMCHUK, 2011).

Um grande número de pesquisas que abrange quase quatro décadas tem demonstrado que grande parte dessas informações necessárias está disponível remotamente, através veículos aéreos não tripulados (VANT) e satélites baseados em sistemas de sensores. Tecnologia de sensoriamento remoto quando combinada com notáveis avanços do Sistema de Posicionamento Global (GNSS), Sistemas de Informação Geográfica (SIG), monitores de produtividade e avançados modelos de simulação tem o potencial de transformar as formas que os produtores gerenciam áreas extensas e permitem implementar técnicas de Agricultura de Precisão com menor custo relativo.

Qual a vantagem de se usar imagens de satélite em áreas agrícolas?



O uso de imagens de satélite é uma alternativa de gerenciamento e diagnóstico do comportamento e determinação do potencial agrícola de uma região, uma vez que as informações derivadas provêm respostas rápidas e seguras, com custo baixo e em curto prazo.

Propriedades de reflectância espectral no manejo das culturas

Características espectrais da vegetação têm características muito importantes: dois vales na porção espectral do visível são determinados pelos pigmentos contidos na planta. A clorofila absorve fortemente na região do vermelho (680 nm) e azul (510 nm), também conhecido como as bandas de absorção de clorofila (THENKABAIL et al., 2012). A assinatura de reflectância tem um aumento drástico na reflexão para a vegetação saudável em torno de 700 nm. No infravermelho próximo (NIR), entre 700 e 1300 nm, uma folha da planta tipicamente normalmente refletira entre 40% e 60%, o resto é transmitido, com apenas 5% sendo adsorvida.

Dados de Sensoriamento Remoto é uma função de domínio óptico reflexivo, fonte de custo único e eficaz, qual fornece informações espacial e temporal sobre parâmetros biofísicos e bioquímicos da vegetação distribuída na superfície da terra (HOUBORG et al., 2011). A quantidade de folhas verdes da planta é uma variável chave usada pelos fisiologistas e modeladores de culturas para estimar cobertura vegetal, bem como o crescimento da cultura e previsão da produtividade. Estas folhas desempenham um papel importante em vários processos biofísicos tais como a transpiração das plantas e as trocas de CO₂ (THENKABAIL et al., 2012). Devido às folhas verdes das plantas estarem funcionalmente ligadas à reflectância do dossel, a sua obtenção a partir de dados de Sensoriamento Remoto levou muitas investigações e estudos ao longo dos anos (APARICIO et al., 2000; GITELSON, 2004; HABOUDANE et al., 2004; HOUBORG et al., 2009).

As folhas verdes da planta normalmente exibem baixa reflectância e transmitância em regiões do espectro visível (ou seja, 400 a 700 nm) devido à forte absorvância por pigmentos de plantas fotossintéticas (CHAPPELLE et al., 1992). Por outro lado, reflectância e transmitância são ambos geralmente elevados nas regiões do infravermelho próximo (NIR, 700-1300 nm), porque há pouca absorvância por partículas subcelulares ou pigmentos e também porque não há dispersão considerável nas interfaces da parede celular do mesofilo foliar (GAUSMAN, 1974; GAUSMAN, 1976; SLATON et al., 2001). Esta divergência acentuada das propriedades de reflectância, entre comprimentos de onda no visível e NIR, sustenta a maioria das abordagens remotas para monitoramento e manejo de culturas e comunidades naturais de vegetação (BAUER, 1975; KNIPLING, 1970).

As principais bandas de absorção são as responsáveis por mudanças na curva espectral de reflectância (Figura 1). Este comportamento espectral é útil para avaliar o vigor da planta e para separar dossel do solo nu. Além disso, a discriminação das classes de vegetação possibilita a discriminação da reflectância do NIR devido às diferenças entre as espécies de plantas. O comportamento das mudanças espectrais nas folhas durante a senescência e em plantas submetidas ao estresse (por exemplo, doenças, pragas, escassez de N) reflete mais luz vermelha e absorve mais NIR. Comportamento oposto é mostrado em plantas saudáveis, com altos valores de reflectância na região do NIR e valores baixos na faixa do vermelho (GAUSMAN et al., 1976; PINTER et al., 2003). O solo tem baixa reflectância no azul e as suas propriedades de reflectância aumentam monotonicamente nas regiões espectrais do visível e NIR (PRICE, 1990).

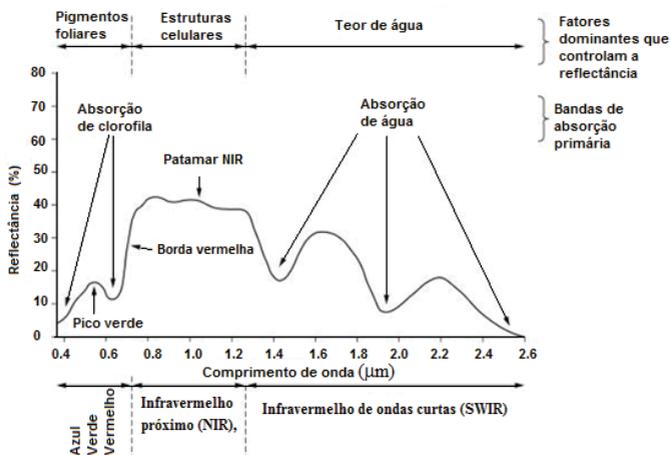


Figura 1. Bandas primárias de absorção e fatores responsáveis por mudanças na curva de reflectância espectral. Fonte: Ponzoni e Shimabukuro, 2007.

Outros fatores relacionados ao comportamento espectral são a composição das espécies, estágio de desenvolvimento, condições de repouso, sazonalidade e as práticas de manejo utilizadas (JONCKHEERE et al., 2004). As mudanças fenológicas e condições ambientais afetam as etapas das propriedades biofísicas durante o desenvolvimento da vegetação.

Três fortes bandas de absorção de água são observadas em torno de 1400, 1900 e 2600 nm e podem ser usadas para estimar o teor de água da planta. No entanto, existem poucos estudos que investigaram o potencial de multicolinearidade no conjunto de dados espectrais para estimar o teor de água da vegetação (MIRZAIIE et al., 2014).

Conteúdo de água da folha é um indicador chave da saúde da planta, vigor e eficiência fotossintética (HARRY, 2006). O status da água na cultura é uma propriedade biofísica chave que é usada para manejar a irrigação, bem como para avaliar a saúde da cultura. Na maioria dos casos, está diretamente associado com a disponibilidade de água no solo e, quando este não é o caso (ou seja, disponibilidade de água não é o fator limitante), o status da água torna-se um indicador de saúde das culturas (THENKABAIL et al., 2012).

O uso de imagem de satélite é uma alternativa eficaz da amostragem em campo para recuperação do conteúdo de água na folha, sendo não destrutivo e fornecendo cobertura espacial contínua de grandes áreas (SEPULCRE-CANTÓ et al., 2006).

O status hídrico da folha foi estimado com sucesso usando ondas curtas do infravermelho (CECCATO et al., 2001; ZYGIELBAUM et al., 2009). As moléculas de água na folha absorvem a energia eletromagnética ao longo das ondas curtas no infravermelho de 1300-2500 nm, onde existe uma forte absorção à 1450 nm, 1900

nm e 2100 nm e baixa absorção em 750 nm e 1200 nm (DATT, 1999). Métodos de detecção na região do infravermelho termal (TIR) têm sido relatados como capazes de predir potencial de água nas folhas e caule, detectando a temperatura da folha (MOLLER et al., 2007).

Outra medida alternativa para o estresse das culturas pode ser derivada de imagens térmicas quantificando a temperatura das folhas, o que deve estar relacionado com a condutância foliar (MOLLER et al., 2007). Jones et al. (2002) sugeriram que esta medida poderia ser apropriada para culturas com dossel uniforme. Imagem termal em conjunto com o visível e NIR permite a exclusão de material não foliar na estimativa da temperatura do dossel e a possibilidade de selecionar partes específicas do dossel para a estimativa do estresse hídrico (LEINONEN; JONES, 2004).

Apesar das recentes melhorias significativas nos equipamentos computacionais e programas usados em imagens térmicas, há falta de conhecimento na ligação entre temperatura medida no dossel remotamente e medidas terrestres de estresse hídrico na cultura, como a condutância foliar e potencial de água na folha ou haste. No entanto, o conhecimento destas relações é necessário, a fim de traduzir os dados de imagens térmicas com precisão para as estimativas de déficit hídrico, que podem servir como ferramentas de apoio à decisão de irrigação (MOLLER et al., 2007).

Índices de Vegetação (IVs) no monitoramento das culturas agrícolas

O conhecimento do comportamento espectral das culturas agrícolas pode auxiliar na estimativa da produtividade. Índices de vegetação-IVs, que podem ser calculados por meio das bandas espectrais das imagens de satélite, têm boa relação com a produtividade agrícola (RUDORFF et al., 1995; BERKA et al., 2003; RIZZI, 2004).

Índices de vegetação (IV) são indicadores das condições da vegetação e por isso têm sido frequentemente utilizados como variáveis auxiliares para monitorar a produtividade de culturas agrícolas. Os IVs baseiam-se em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais, de tal forma que resumem estes dados espectrais em um único valor. Os IV também têm a finalidade de destacar a contribuição espectral da vegetação, minimizando a influência de fatores como solo, ângulo solar, vegetação senescente, atmosfera, e inclinação do terreno (GUTMAN et al., 1995; ALMEIDA et al., 2005).

Os IVs são sensíveis à biomassa verde de uma comunidade de plantas e, portanto, a quantidade de clorofila por unidade de área. A quantidade dessa biomassa pode estar diretamente relacionada ao índice de área foliar e a produção da cultura. É importante lembrar que a clorofila absorve seletivamente a energia radiante que é convertida e estocada na forma de compostos orgânicos através da fotossíntese (PONZONI, 2001) e que, portanto, pode ser monitorada por meio de Índices de Vegetação.

Os aspectos fisiológicos por exemplo da cana-de-açúcar necessários para o entendimento dos mecanismos de crescimento vegetativo e o acúmulo de sacarose são pouco conhecidos quando comparado às culturas que acumulam

o produto comercial após passar para a fase reprodutiva, já que estas culturas apresentam estádios de crescimento e desenvolvimento mais previsíveis (INMAN-BAMBER et al., 2005; TEJERA, 2007). Contudo, a produtividade agrícola da cana-de-açúcar está ligada ao aumento de biomassa, que é dependente do crescimento de sua área foliar (LUCCHESI, 1987). Oliveira et al. (2007) observaram que existe uma correlação linear positiva de aproximadamente 0,7 na relação entre o Índice de Área Foliar-IAF e a produção de massa seca total.

O que são índices de vegetação (IV)?

Os índices de vegetação servem como ferramenta para avaliar e monitorar as condições da vegetação, utilizando imagens de satélite. Os índices são obtidos por meio de relações matemáticas entre as faixas espectrais do espectro eletromagnético, sendo usados como indicativo do vigor da vegetação.

Existe restrição para se usar os índices de vegetação (IV)?

Sim. Esses índices são recomendados somente para lavouras mais extensas, pois em um só pixel pode ter a mistura de diferentes tipos de superfície, dependendo da resolução espaço-temporal do satélite. A estimativa da produtividade agrícola requer acompanhamentos frequentes. Assim, no caso de se utilizar imagens de satélite para essa finalidade, estas devem ser de alta resolução temporal. Além da área foliar, o IV depende da estrutura e da arquitetura das plantas nos diferentes sistemas de cultivos, assim como o problema de saturação em áreas densamente vegetadas.

Qual a importância dos índices de vegetação para a agrometeorologia?

A importância está no monitoramento de mudanças sazonais e interanuais das atividades agrícolas e do desenvolvimento da vegetação.

Quais os principais índices de vegetação?

Os principais índices de vegetação são os seguintes:

- ✓ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).
- ✓ Soil Adjust Vegetation Index (SAVI).
- ✓ Perpendicular Vegetation Index (PVI).
- ✓ Weighted Difference Vegetation Index (WDVI).
- ✓ Greenes Vegetation Index (GVI).
- ✓ Enhanced Vegetation Index (EVI).

O que é SAVI?

É o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo o qual apresenta valores de 0 a 1, variando segundo a biomassa e a fração de solo exposto.

O que é NDVI?

O NDVI ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é a normalização do índice razão simples entre a reflectância no canal do visível e infravermelho próximo, variando entre -1, em superfícies d'água, e 1, representando superfícies densamente vegetadas.

O que é EVI?

É um índice de vegetação que tem a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação. O EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo do dossel.

Foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel, no monitoramento da vegetação. Vários autores sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa, como florestas.

Uso de bandas termais na estimativa da taxa de degradação de defensivos agrícolas na superfície do solo

O controle de pragas e outros invasores nas culturas agrícolas é de suma importância para garantir uma safra de qualidade. Para tanto são aplicados defensivos agrícolas nas mais diversas formas: aplicação aérea, terrestre ou local. No entanto, a aplicação indevida desses defensivos nos cultivos pode causar adversidades ambientais. Contaminação do solo e recursos hídricos são os mais frequentes, podendo atingir direta ou indiretamente os organismos que dependem desses recursos. Carter (2000) afirmou que os herbicidas são apontados como o grupo de defensivos agrícolas mais frequentemente detectado em estudos de qualidade de águas superficiais e subterrâneas. A persistência de um defensivo agrícola no solo depende de processos de dissipação, como a degradação, e dos microrganismos do solo (NAKAGAWA; ANDRÉA, 2000).

Um dos fatores presentes na degradação de um defensivo agrícola no solo é a temperatura, uma vez que essa afeta a velocidade do metabolismo dos microrganismos envolvidos nesse processo (SPADOTTO et al., 2010). Diversas são as formas de obter a temperatura da superfície do solo. Uma delas é o uso da banda termal de satélites em conjunto com modelos matemáticos que estimam a taxa de degradação de um defensivo agrícola na superfície do solo. Dessa forma, é possível prever o potencial de lixiviação ou carreamento superficial do defensivo agrícola.

A estimativa da temperatura de superfície do solo por meio de bandas termais de satélites necessitam de outros produtos: Correção atmosférica das bandas necessárias para obtenção dos índices de Vegetação e índice de Área Foliar. Esses índices permitem a correção para estimar a temperatura de superfície do solo, uma vez que áreas com maior cobertura vegetal irão apresentar temperaturas

mais baixas e áreas com menor cobertura vegetal temperaturas mais elevadas. Assim, torna-se possível estimar a taxa de degradação de um defensivo agrícola no solo, uma vez que áreas com temperaturas elevadas irão proporcionar uma maior taxa de degradação e áreas com temperaturas baixas irão proporcionar uma menor taxa de degradação.

Com isso é possível identificar áreas com maior ou menor risco para contaminação de solos e recursos hídricos, fornecendo subsídios para a tomada de decisão em questões de aplicação de defensivos agrícolas nos cultivos.

Moraes et al. (2013) desenvolveram um estudo para estimar a taxa de degradação do herbicida Atrazina em área de proteção ambiental (Figura 2 e 3). Para tanto, utilizaram a banda termal do satélite Landsat-5 e técnicas de geoestatística (que permite o estudo do comportamento espacial de uma variável no espaço e/ou tempo).

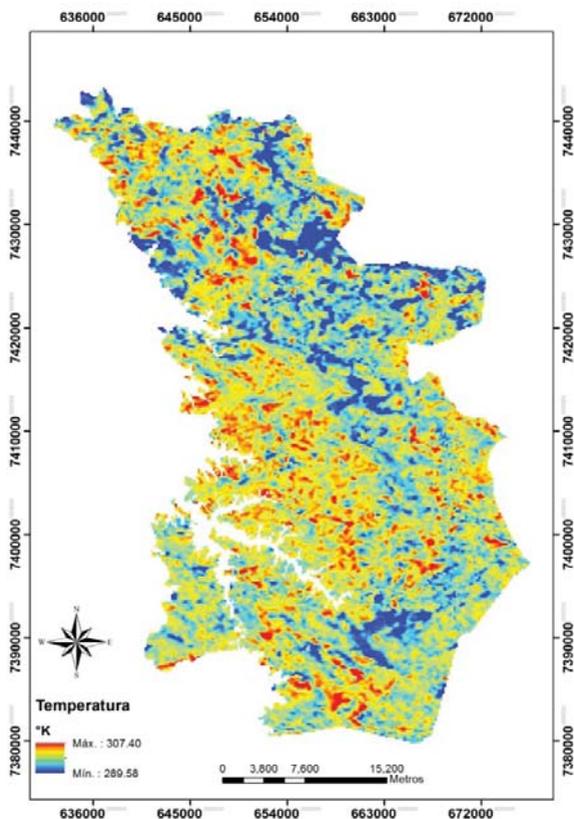


Figura 2. Temperatura estimada da superfície do solo em °K

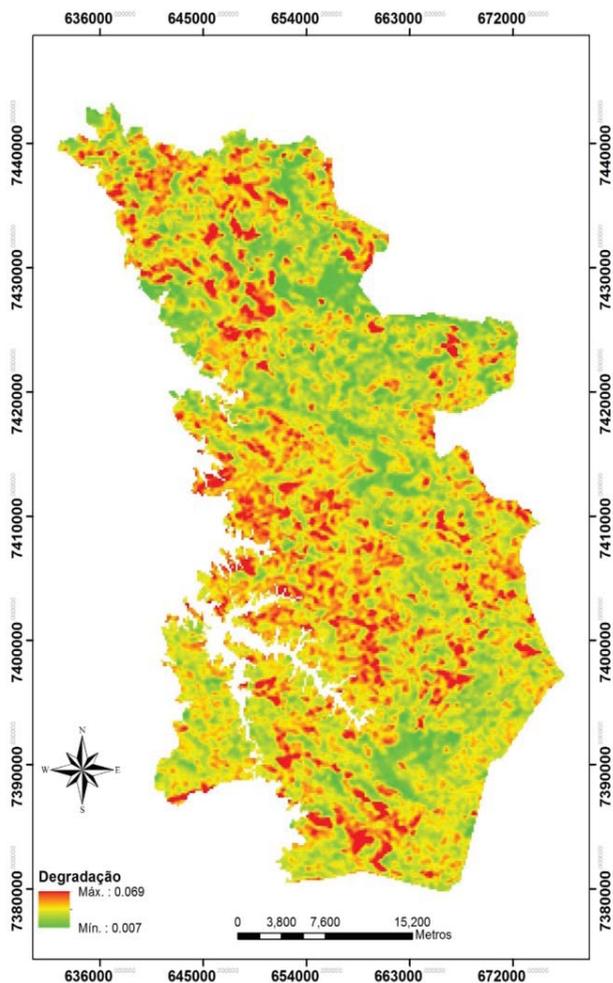


Figura 3. Taxa de degradação estimada da Atrazina na superfície do solo

Referências

- ADAMCHUK, V. I. et al. Sensor fusion for precision agriculture. In: CIZA, T. (Ed.). **Sensor fusion: foundation and applications**. 2011. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/articles/show/title/sensor-fusion-for-precision-agriculture>>. Acesso em: 28 out. 2012.
- AHAMED, T. et al. Site-specific management for biomass feedstock production: development of remote sensing data acquisition systems. In: PROCEEDINGS OF

- 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 10., 2010, Denver Colorado. **Anais...** Denver Colorado; 2010.
- ALMEIDA, T. S.; FONTANA, D. C.; MARTORANO, L.G.; BERGAMASCH, H. Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.17-24.
- APARICIO, N. et al. Spectral vegetation indices as non destructive tools for determining durum wheat yield. **Agronomy Journal**, Lleida, Spain; n. 92, p. 83-91, 2000.
- BAUER, M.E. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops, **Advances in Agronomy**, Newark, USA, v. 27, p. 271-304, 1975.
- BERKA, L.M.S.; RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Soybean yield estimation by an agrometeorological model in a GIS. **Scientia Agricola**, v.60, n.3, p.433-440. 2003.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. **Weed Res.**, v. 40, p. 113-122, 2000.
- CECCATO, P. et al. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**. Amsterdam, v 77, p. 22-33, 2001.
- CHAPELLE, E.W.; KIM, M.S.; MCMURTREY, J.E. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b and the carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v.39, n.3, p.239-47, Mar. 1992.
- DATT, B. Remote sensing of water content in eucalyptus leaves. **Australian Journal of Botany**, Sydney, v. 47, n. 6, p. 909-923. 1999.
- DE BENEDETTO, D. et al. An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 199, p. 117-127. 2013.
- FIORIO, P. R.; DEMATTE, J. A. M.; SPAROVEK, G. Chronology and environmental impact of land use on Ceuveiro microbasin in Piracicaba region, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 35, p. 671-679. 2000.
- FRANZEN, D.W. Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management. **Agron. J**, USA. v. 94, p. 381-389. 2002.
- GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A., ESCOBAR, D.E. Refractive index of plant-cell walls, **Applied Optics**, Massachusetts. v. 13, n. 1, p. 109-111. 1974.
- GAUSMAN, H.W., RODRIGUEZ, R.R., RICHARDSON, A.J. Infrared reflectance of dead compared with live vegetation, **Agronomy Journal**, USA. v. 68, n. 2, p. 295-296. 1976.
- GITELSON, A.A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. **J. Plant Physiol**, Amsterdam. v. 161. p. 165-173. 2004.
- GUTMAN, G.; TARPLEY, D.; IGNATOV, A. The enhanced NOAA global land dataset from the Advanced Very High Resolution Radiometer. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 7, p. 1141-1156, jul. 1995.
- HABOUDANE, D. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam. v. 90, p.337-352. 2004.
- HARRY, V. Principles of soil and plant water relations. **Geoderma**, Amsterdam. v. 133, n. 3-4, 478 p. 2006.

- HOUBORG, R.; ANDERSON, M.; DAUGHTRY, C. Utility of an image-based canopy reflectance modeling tool for remote estimation of LAI and leaf chlorophyll content at the field scale. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam. v.113, p. 259–274. 2009.
- HOUBORG, R. et al. Using leaf chlorophyll to parameterize light-use-efficiency within a thermal-based carbon, water and energy exchange model. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam. v. 115, n. 7, p. 1694–1705. 2011.
- INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. Sugarcane Physiology: Integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3, p. 115-117, jun. 2005.
- JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, p. 19–35. 2004.
- JONES, H.G. et al. Use of infrared thermometry for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **Journal of Experimental Botany**, London. v. 53, p. 2240–2260. 2002.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation, **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam. v. 1, p. 155–159. 1970.
- LARK, R.M. Forming spatially coherent regions by classification of multivariate data: an example from the analysis of maps of crop yield. **Int. J. Geogr. Inf. Sci**, Berlin. v. 12, p. 83–98. 1998.
- LEINONEN, I.; JONES, H.G. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. **Journal of Experimental Botany**, London. v. 55, p. 1423–1431. 2004.
- LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.
- MOLLER, M. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. **Journal of Experimental Botany**, London. v. 58, n. 4, p. 827–838, 2007.
- MORAES, D. A. C.; SARTORI, A. A. C. ; HOLLER, W. A. ; SPADOTTO, A, C ; MARTINHO, P. R. R. ; ZIMBACK, C.R.L. . Uso da banda termal do satélite LANDSAT-5 e técnicas de geoestatística na estimativa da degradação da Atrazina no solo da Área de Proteção Ambiental de Tejuapá. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais...** Resumos Expandidos do III Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, Botucatu, 2013. p. 1-6.
- MIRZAI, M. et al. Comparative analysis of different uni- and multi-variate methods forestimation of vegetation water content using hyper-spectral measurements. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, London. v. 26, p.1–11. 2014.
- NAKAGAWA, L.E.; ANDRÉA, M.M.. **Degradação e formação de resíduos não-extraíveis ou ligados do herbicida Atrazina em solo**. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X200000800002&lang=pt>. Acesso em: 28 out. 2012.
- PICOLI, M.C.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. **Índice de vegetação do**

- sensor** modis na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.
- PINTER, JR., P.J. et al. The agricultural research service's remote sensing program: an example of interagency collaboration, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, San Diego. v. 69, n. 6, p. 615–618, 2003.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira, 2007.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: _____. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Editora UnB, Embrapa, Brasília (DF), 2001. p. 157-199
- PRICE, J.C. On the information-content of soil reflectance spectra, **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam. v. 33, n. 2, p. 113–121, 1990.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 204 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos. 2004.
- RUDORFF, B. F. T., SHIMABUKURO, Y. E., BATISTA, G. T., LEE, D. The contribution of qualitative variables to a sugarcane yield model based on spectral vegetation index. In: Simpósio Latino Americano de Percepción Remota, 7., 1995. Puerto Vallarta. Memorias del Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, 7., SELPER e SIE, 1995. **Anais...** v.1. p.705 – 708.
- RUDORFF, B.F. T.; SUGAWARA, L.M. Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Cenro-Sul via imagens de satélite. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p.79-86, 2007.
- SEPULCRE-CANTÓ, G. et al. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. **Agr.Forest Meteorol**, USA. v. 136, n. 1–2, p. 31–44, 2006.
- SLATON, M.R.; HUNT, E.R.; SMITH, W.K. Estimating near infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics, **American Journal of Botany**, USA. v. 88, n. 2, p. 278–284, 2001.
- SPADOTTO, C. A.; JUNIOR, R.P.S.; DORES, E.F.G.C.; GLEBER, L.; MORAES, D.A.C. Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos. Campinas: Embrapa, 2010. 46 p.
- TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, v. 102, n. 1, p. 64-72, Apr. 2007.
- THENKABAIL, P.; LYON, J.G.; HUETE, A. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. Taylor e Francis Group. 2012.
- WIEGAND, C. et al. Soil salinity effects on crop growth and yield: Illustration of an analysis and mapping methodology for sugarcane. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam. v. 148, p. 418– 424, 1996.
- YAN, L. et al. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam. v. 56, p. 174–186, 2007.
- YANG, X. H.; ZHOU, Q. M.; MELVILLE, M. Estimating local sugarcane evapotranspiration using Landsat TM image and a VITT concept. **International Journal of Remote Sensing**, New Delhi, India. v. 18, p. 453– 459, 1997.
- ZYGIELBAUM, A.I. et al. Nondestructive detection of water stress and estimation of relative water content in maize. **Geophys**. Nebraska. v. 36, p. 1-4, 2009.