

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA IDENTIFICAR E MAPEAR ESTRESSE SALINO NA CULTURA DO ARROZ NO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DE MORADA NOVA - CE

LUIS CLENIO JÁRIO MOREIRA¹, MARCIO PORFÍRIO DA SILVA², ADUNIAS DOS SANTOS TEIXEIRA³, THALES RAFAEL QUEIROZ² CHRISTIAN CRISTINO FREIRE DE SENA²

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Limoeiro do Norte - CE - Brasil, e-mail: cleniojario@ifce.edu.br

² Estudante de Graduação em Agronomia - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Limoeiro do Norte - CE - Brasil

³ Engenheiro Agrônomo, Professor Phd do Depto. de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE - Brasil, e-mail: adunias@ufc.br

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Na agricultura a identificação das áreas afetadas por sais/sódio é de extrema relevância e o sensoriamento remoto é uma alternativa atraente aos métodos tradicionais podendo permitir o mapeamento das áreas salinizadas. Esse trabalho investigou o potencial de uso do sensoriamento remoto (imagem SpecTIR) na identificação e caracterização do processo de salinização do solo no Perímetro de Irrigação de Morada Nova – Ceará usando a cultura do arroz sob estresse salino como indicadora. O estudo foi desenvolvido em um talhão que apresentava problemas de salinidade. Dentro desse talhão foi definida uma malha de pontos amostrais e realizada medidas de condutividade elétrica do solo (CE). Também foi extraído espectros de uma imagem do sensor SpecTIR (aertransportado) referente aos pontos amostrais. Índices de vegetação hiperespectrais foram usados para identificar a distribuição espacial dos dosséis sob estresse. Esses índices foram correlacionados com as informações da CE do solo para identificar quais índices que melhor caracterizava esse processo. O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Salinity and Water Stress Index 1 (SWSI 1) foram os que apresentaram melhor desempenho com R^2 de 0,61 e 0,84, respectivamente. É possível usar o sensoriamento remoto para caracterizar o processo de salinização no cultivo do arroz.

PALAVRAS-CHAVE: Solo salinizado, Agricultura irrigada, Imagens hiperespectrais.

REMOTE SENSING OF USE TO IDENTIFY AND MAP SALT STRESS IN RICE CULTURE IN IRRIGATION PERIMETER OF MORADA NOVA - CE

ABSTRACT: In agriculture the identification of areas affected by salt/sodium is extremely important and remote sensing is an attractive alternative to traditional methods can allow the mapping of salinized areas. This study investigated the use of remote sensing potential (image SpecTIR) the identification and characterization of soil salinization process in Morada Nova Irrigation Perimeter - Ceará using rice cultivation under salt stress as an indicator. The study was conducted in a field that had salinity problems. In this plot was a mesh set of sample points and performed measurements of electrical conductivity of the soil (EC). It was also extracted spectra of an image sensor SpecTIR (airborne) for the sampling points. Hyperspectral vegetation indices were used to identify the spatial distribution of the canopies

under stress. These indices were correlated with soil EC information to identify which indexes that best characterized the process. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Salinity and Water Stress Index 1 (SWSI 1) showed the best performance with R^2 of 0.61 and 0.84, respectively. You can use remote sensing to characterize the salinization process in rice cultivation.

KEYWORDS: Salinated soil, irrigated agriculture, hyperspectral images.

INTRODUÇÃO

A salinização do solo tem causado decréscimo de produtividade devido alterações das propriedades físicas e químicas, retardando o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A consequência imediata é o abandono de áreas produtivas, que nos casos mais severos de degradação marca o início do processo de desertificação (D'ODORICO *et al.*, 2013).

Especificamente para cultura do arroz, o aumento da componente osmótica do solo causada pelo excesso de sais na solução restringe a capacidade de absorção de água das plantas, diminui a transpiração pelo fechamento dos estômatos e, portanto, reduz a assimilação da radiação fotossinteticamente ativa. Isso tem como consequência uma menor produção de fitomassa em função da redução do perfilhamento e altura da planta, além de aumentar consideravelmente o número de panículas estéreis causando queda de produtividade da cultura (SINGH *et al.*, 2007; FRAGA *et al.*, 2010).

A identificação e o monitoramento das áreas afetadas pelo sal nos cultivos agrícolas são essenciais nas decisões visando a melhorar a gestão do campo, especialmente as práticas de agricultura de precisão (ZHANG *et al.*, 2012). Técnicas convencionais para mapeamento de determinados problemas relacionados aos solos são caras, demoradas e requerem amostragem intensiva para caracterizar a variabilidade espacial (NANNI & DEMATTÊ, 2006). Nesse sentido, o sensoriamento remoto (SR) pode ser usado já que é um método rápido, preciso e simples, que pode ser usado para obter informações sobre atributos biofísicos e bioquímicos de plantas e/ou dosséis sob estresse (ROBERTS *et al.*, 2011; MARIOTTO *et al.*, 2013).

Vários estudos têm sugerido que a reflectância das culturas agrícolas pode ser usada na quantificação indireta da salinização do solo usando índices de vegetação para caracterizar esse processo. Dentre os índices mais usados, o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e o Normalized Difference Water Index (NDWI) têm apresentado bons resultados (ZHANG *et al.*, 2012; HAMZEH *et al.*, 2013). No entanto, o NDVI pode apresentar certas limitações em dosséis com elevada biomassa sob estresse em função de sua saturação. Nesse caso, o Enhanced Vegetation Index (EVI) tem grande potencial de aplicação, superando o NDVI (HUETE *et al.*, 2002).

A maioria dos trabalhos tem se concentrado no uso de dados multiespectrais e hiperespectrais obtidos de imagens com baixa resolução espacial. No entanto, a dinâmica temporal e a grande variabilidade espacial da salinização exigem sensores com boa resolução espacial, espectral e temporal para essa aplicação (METTERNICHT & ZINCK, 2008).

Desta forma, o objetivo desse trabalho é fazer uma caracterização espectral do estresse salino de dosséis de arroz na fase de floração usando índices de vegetação obtidos de uma imagem SpecTIR (sensor aerotransportado com resolução espacial de 1m).

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo e da cultura estudada

A área de estudo é um talhão agrícola dentro do distrito de irrigação de Morada Nova

localizado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte – CE (Figura 1). A área foi selecionada por apresentar diversos problemas de salinização em função da elevada concentração original de sais que afeta a produtividade agrícola e, muitas vezes, inibe o completo desenvolvimento das culturas. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, corresponde a BSW'h' (muito quente e semiárido) com precipitações médias anuais inferiores a 900 mm, temperatura média anual de 27,5° C e evapotranspiração potencial maior que 2000 mm.

A principal fonte econômica da região é o plantio de arroz irrigado. De acordo com os dados fornecidos pela Associação dos Usuários do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado de Morada Nova (AUDIPIMN), no ano de 2015, aproximadamente 5.000 ha foram plantadas com a variedade “PUITÁ INTA-CL” que tem porte baixo com ciclo médio de 125 dias.

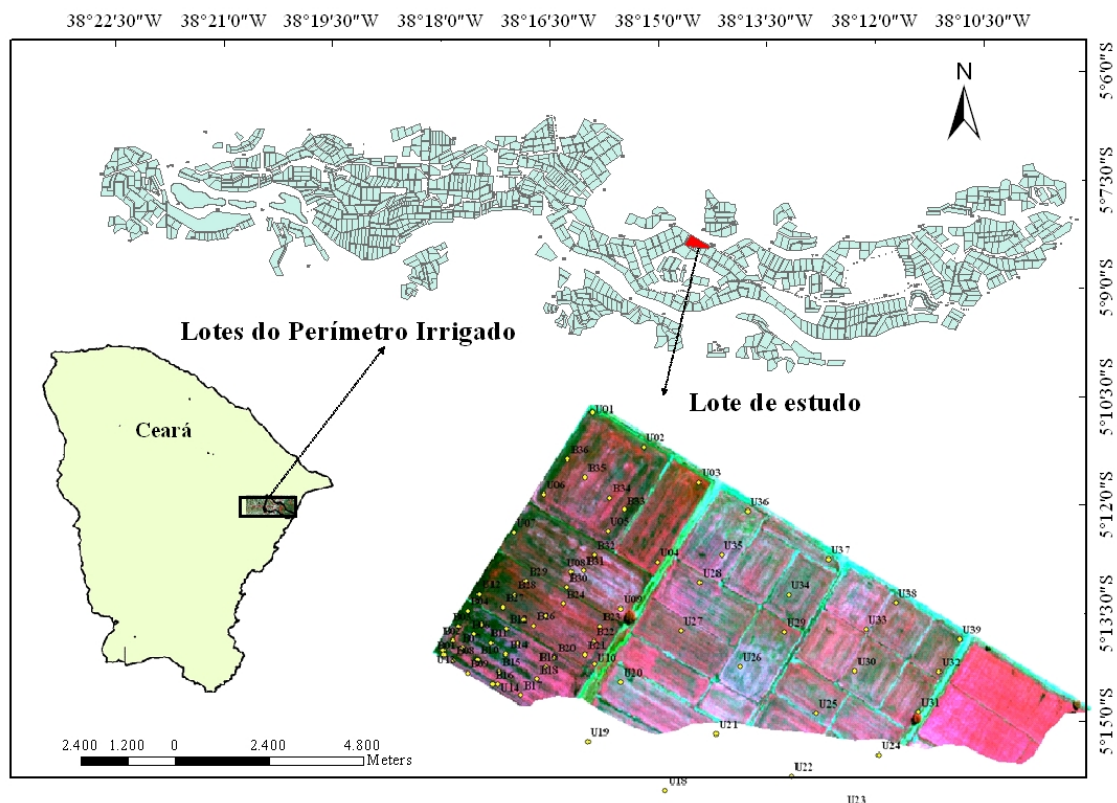


FIGURA 1. Área de estudo localizada no perímetro de irrigação de Morada Nova - CE, com destaque para o lote e os pontos amostrais onde foram obtidos os dados espectrais do arroz e de condutividade elétrica do solo (mostrado em composição RGB da imagem SpectIR).

Coleta de dados em campo e imageamento hiperespectral aerotransportado (SpectIR)

Para investigar o efeito da salinidade do solo no vigor da cultura de arroz foram selecionados pontos amostrais dentro de uma talhão agrícola de aproximadamente 5 ha cultivado com a variedade Puitá INTA-CL com mesma idade fisiológica, garantindo que as diferenças espectrais apresentadas não fossem em função da fase fenológica da cultura. Foi definida uma malha de pontos (Figura 01) dentro do talhão buscando uma boa caracterização do processo de variabilidade da salinização. No total foram considerados 65 pontos amostrais com dimensão espacial equivalente a 1 m² onde foram obtidas amostras compostas por 5 medidas de CE e considerada a média para cada ponto. As medidas de condutividade elétrica (CE) do solo foram obtidas com um condutímetro marca “Wet sensor HH2 Moisture Meter (At Delta-T Devices, Cambridge, England)” quando o arroz nos pontos amostrais estava com

86 DAP (fase de floração) onde a cultura atinge valores máximos de NDVI e índice de área foliar (WANG et al., 2014). Os pontos amostrais foram marcados com um GPS modelo 7211 da marca “Garmin”.

Foi realizado um sobrevôo para imageamento hiperespectral da área experimental em 18/maio de 2015 (arroz com 86 DAP). O sensor hiperespectral SpecTIR trabalha com dois sub-sistemas de imageamento: um na região do visível/infravermelho próximo -VNIR (400 a 970 nm) e outro na região do infravermelho de ondas curtas – SWIR – do espectro eletromagnético (970 a 2500 nm), denominados Eagle e Hawk, respectivamente (www.spectir.com). Os dados utilizados neste trabalho foram entregues no nível 1A de processamento (i.e. convertido para reflectância), 357 bandas distribuídas entre as regiões do VNIR (122) SWIR (235), 5nm de resolução espectral e resolução espacial de 1 m. Adicionalmente foi realizada uma correção geométrica no software ENVI 5.0 com os arquivos .igm fornecidos pela empresa que fez o imageamento.

Análise dos índices de vegetação

Para avaliar o comportamento da reflectância e dos índices de vegetação do arroz sob estresse salino, foram considerados os espectros médios obtidos a partir dos pixels correspondentes às áreas em que foram realizadas as medidas de CE em campo. Para caracterizar as diferenças espectrais de dos pontos sob variadas intensidades do estresse salino foram plotados espectros obtidos dessa imagem.

Dentre os índices de vegetação listados na Tabela 1, o NDVI, SR, EVI e Vogelmann Red Edge Index (VOG1) estão relacionados ao pigmento clorofila; o Photochemical reflectance index (PRI) está relacionado com a eficiência de uso da luz; o Moisture Stress Index (MSI), Normalized Difference Infrared Index (NDII), Water Band Index (WBI), Leaf Water Vegetation Index (LWVI-2), NDWI e Disease-Water Stress Index 1 (DSWI-1) estão associados com o teor de água das folhas/dossel; o Salinity and Water Stress Index 1 (SWSI 1) esta relacionado tanto ao pigmento clorofila quanto ao teor de água do dossel.

TABELA 1. Índices de vegetação obtidos da imagem SpecTIR.

Índice	Equação	Referência
NDVI	$(\rho_{864}-\rho_{671})/(\rho_{864}+\rho_{671})$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
SR	ρ_{864}/ρ_{671}	Rouse <i>et al.</i> (1973)
VOG1	ρ_{742}/ρ_{722}	Vogelmann <i>et al.</i> (1993)
EVI	$2.5 * [(\rho_{864}-\rho_{671})/(\rho_{864}+6 * \rho_{671}-7.5 * \rho_{467}+1)]$	Huete <i>et al.</i> (2002)
PRI	$(\rho_{531}-\rho_{570})/(\rho_{531}+\rho_{570})$	Gamon <i>et al.</i> (1992)
MSI	(ρ_{1599}/ρ_{819})	Hunt & Rock, (1989)
NDII	$(\rho_{819}-\rho_{1649})/(\rho_{819}+\rho_{1649})$	Jackson <i>et al.</i> (2004)
LWVI-2	$(\rho_{1094}-\rho_{1205})/(\rho_{1094}+\rho_{1205})$	Galvão <i>et al.</i> (2005)
NDWI	$(\rho_{854}-\rho_{1245})/(\rho_{854}+\rho_{1245})$	Gao, (1996)
DSWI-1	ρ_{800}/ρ_{1660}	Apan <i>et al.</i> (2004)
SWSI 1	$(\rho_{803} - \rho_{681})/\sqrt{(\rho_{905} + \rho_{972})}$	Hamzeh <i>et al.</i> (2013)

ρ = reflectância da banda; Os comprimentos de ondas nos índices hiperespectrais são os centros das bandas do SpecTIR mais próximas das formulações originais dos índices.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características espectrais do arroz sob estresse salino com dados SpecTIR

A Figura 2 mostra os espectros de reflectância de três pontos amostrais (mesma idade fisiológica) com diferentes níveis de salinidade do solo, obtidos da imagem SpecTIR dentro da área de estudo. As regiões espectrais com forte influência de absorção atmosférica próximas a 1400 e 1900 nm apresentam as maiores bandas de absorção. Com o aumento da condutividade elétrica do solo, houve uma redução significativa da reflectância nas regiões do NIR, SWIR1, SWIR2 e leve redução da absorção na região do vermelho. Essa redução de absorção está ligada a diminuição no teor de clorofila em função do aumento do estresse salino, no entanto, esse comportamento foi quase imperceptível nos espectros. Já a redução da reflectância nas regiões do NIR, SWIR1 e SWIR2 com o aumento da concentração salina, foi um comportamento inesperado já que o estresse salino tende a reduzir o conteúdo de água das folhas e, portanto, produzir um aumento da reflectância, como observado por Song *et al.* (2011) e Zhang *et al.* (2012) estudando em laboratório a reflectância de folhas de arroz e algodão, respectivamente.

No entanto, as relações que valem para folhas isoladas não são necessariamente válidas para dosséis. No caso específico dos dosséis de arroz analisados nesse trabalho, a menor reflectância no NIR, SWIR1, SWIR2 pode ser atribuída basicamente à redução da biomassa no pixel causada pelo estresse salino. Essa redução de biomassa contribui para o rebaixamento da curva espectral nessas regiões devido ao efeito de fundo tendo implicações no comportamento de alguns índices de vegetação. A diminuição da biomassa em áreas de arroz irrigado se dá pela redução na estatura das plantas, morte dos perfilhos e falhas no estande, que são comportamentos típicos do estresse por salinidade (CARMONA, 2011).

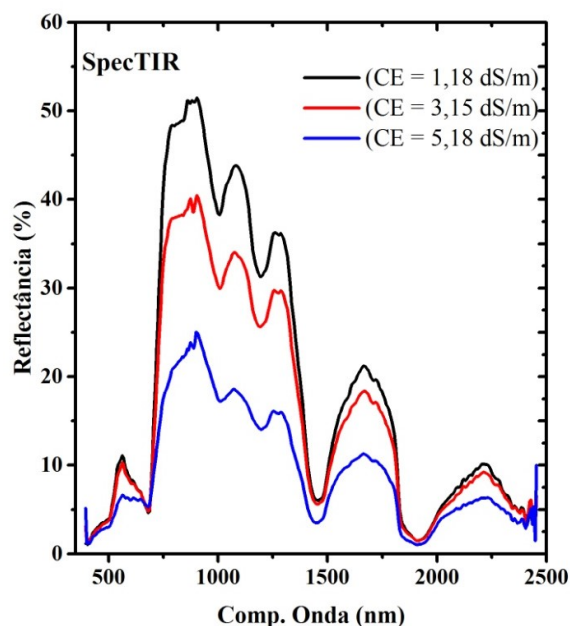


FIGURA 2. Perfis espectrais de três pontos amostrais (mesma data de plantio) com diferentes condutividades elétricas do solo.

Relação entre Índices de vegetação Hiperespectrais e Salinidade do Solo

Os resultados estatísticos da relação entre os índices de vegetação e a salinidade do solo para o conjunto de dados hiperespectrais são apresentados na Tabela 2. Os índices relacionados ao pigmento clorofila (NDVI, VOG1, EVI e SR) apresentaram significativas correlações negativas com a salinidade do solo com valores de R^2 variando de 0,42 a 0,61. Os índices de vegetação ligados ao teor de clorofila estão relacionados com o crescimento das plantas, quantidade de biomassa e área foliar, que, especificamente para a cultura do arroz, são fatores bastante sensíveis à salinidade do solo, tendo reduções significativas com o aumento do estresse salino (ZHANG et al., 2011).

TABELA 2. Resultados estatísticos da análise por regressão linear entre os índices de vegetação e salinidade do solo (CE) para o conjunto dados do SpecTIR (n = 65 pontos).

Índice	Equação	R^2	Sig.
NDVI	$y = -0,030x + 0,856$	0,61	0,00
SR	$y = -1,036x + 11,202$	0,58	0,00
VOG1	$y = -0,023x + 1,493$	0,57	0,00
EVI	$y = -0,098x + 2,111$	0,42	0,00
PRI	$y = -0,003x - 0,064$	0,10	0,01
MSI	$y = 0,002x + 0,383$	0,01	0,41
NDII	$y = -0,001x + 0,398$	0,01	0,64
LWVI-2	$y = -0,003x + 0,165$	0,60	0,05
NDWI	$y = 0,011x + 0,138$	0,34	0,00
DSWI-1	$y = -0,007x + 2,263$	0,00	0,61
SWSI 1	$y = -0,361x + 4,78$	0,84	0,00

Os índices relacionados ao conteúdo de água do dossel apresentaram resultados bastante variados com R^2 de 0,01; 0,01; 0,60 e 0,34 para MSI, NDII, LWVI-2 e NDWI, respectivamente. Dentre os índices o melhor resultado foi do SWSI 1 ($R^2 = 0,84$) que é uma combinação de regiões relacionadas a presença e vigor da vegetação (NIR) com regiões de absorção de água e/ou estresse hídrico, indicando que a salinidade do solo provoca consideradas alterações na reflectância dos dosséis de arroz nessas duas regiões espectrais.

Os índices de vegetação de melhor desempenho nesse estudo indicam o vigor das plantas de arroz sobre estresse salino, e nesse caso, é importante salientar que uma das grandes vantagens no uso do sensoriamento remoto é justamente caracterizar a distribuição espacial desse comportamento como pode ser observado na Figura 3 que mostra a espacialização do NDVI. Esse índice é de fácil obtenção e nesse estudo apresentou um elevado R^2 possibilitando assim seu uso para identificar e caracterizar a espacialização do estresse salino em plantios de arroz. Outra vantagem é que ele pode ser facilmente obtido de imagens multiespectrais como as do sensor OLI/Landsat - 8, por exemplo, que tem resolução temporal de 16 dias e sem custo de aquisição.

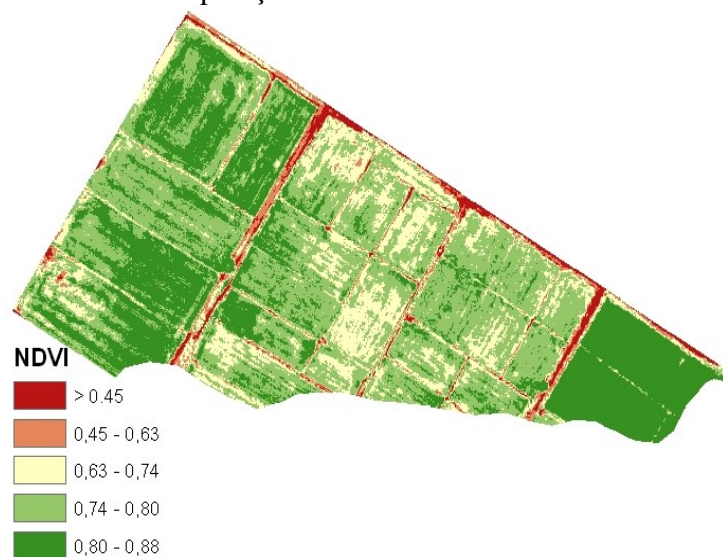


FIGURA 3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) do talhão de arroz.

CONCLUSÕES

Pode ser identificado alterações da reflectância dos dosséis de arroz com diferentes concentrações salinas do solo. O estresse salino reduziu a quantidade de biomassa no pixel e isso foi facilmente identificado pelo sensor SpectTIR através dos índices de vegetação. Os índices ligados ao pigmento clorofila (exp. NDVI, EVI, SR, etc) apresentaram correlações significantes e podem ser usados para detectar o estresse da salinidade do solo no arroz. A associação de regiões ligadas à clorofila com regiões referentes ao teor de água no dossel melhoraram as estimativas.

REFERÊNCIAS

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K.F.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Adv. Water Resour.*, v. 51, p. 326–344, jan. 2013.
APAN, A., HELD, A., PHINN, S., MARKLEY, J. Detection of sugarcane 'orange rust'

disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n°. 2, p.489–498, 2004.

CARMONA, F.C. **Salinidade da água e do solo e sua influência sobre arroz irrigado**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado em ciências do solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FRAGA, T.I.; CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; GENRO JUNIOR, S.A.; MARCOLIN, E. Flooded rice yield as affected by levels of water salinity in different stages of its cycle. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n°.1, p. 163-173, 2010.

GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R.; TISOT, D.A. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern Brazil with EO-1 hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, p. 523–534, 2005.

GAMON, J.A., PENUELAS, J., FIELD, C.B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 35-44, 1992.

GAO, B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n°. 3, p. 257-266, 1996.

HAMZEH, S.; NASERI, A.A.; ALAVI PANAH, S.K.; MOJARADI, B.; BARTHOLOMEUS, H.M.; CLEVERS, J.G.P.W.; BEHZAD, M. Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne hyperspectral vegetation indices. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 282–290, 2013.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n°1-2, p. 195–213, 2002.

HUNT JR., E.R.M., ROCK, B.N. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, p. 43-54, 1989.

JACKSON, T.J.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C.; DORIASWAMY, P.; HUNT, E.R. Vegetation water content mapping using landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 475-482, set. 2004.

MARIOTTO, I.; THENKABAIL, P.S; HUETE, A.; SLONECKER, E.T.; PLATONOV, A. Hyperspectral versus multispectral crop-productivity modeling and type discrimination for the HypSIRI mission. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 291-305, dez. 2013.

METTERNICHT, G.I.; ZINCK, J.A. Remote sensing of soil salinity: potentials and Constraints. **Remote Sensing of Environment**, v.85, p. 1-20, abr. 2003.

NANNI, M. R. D.; DEMATTÊ, J.A.M. Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n°. 2, p. 393-407, mai. 2006.

ROBERTS, D.A.; ROTH, K.L.; PERROY, R.L. Hyperspectral vegetation indices. *In*: THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. (EDS.). **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. Chapter 14, pp. 309–327. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In*: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.

SINGH, M.P.; SINGH, D.K. & RAI, M. Assessment of growth, physiological and biochemical parameters and activities of antioxidative enzymes in salinity tolerant and sensitive basmati rice varieties. **J. Agron. Crop Sci.**, v.193, n°. 6, p. 398-412, ago. 2007.

SONG, S.; GONG, W.; ZHU, B.; HUANG, X. Wavelength selection and spectral discrimination for paddy rice, with laboratory measurements of hyperspectral leaf

reflectance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, n° 5, p. 672-682, set. 2011.

VOGELMANN, J. E.; ROCK, B. N.; MOSS, D. M. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n° 8, p. 1563-1575, 1993.

WANG, L.; ZHANG, F.C.; JING, Y.S.; JIANG, X.D.; YANG, S.B.; HAN, X.M. Multi-Temporal Detection of Rice Phenological Stages Using Canopy Spectrum. **Rice Science**, v. 21, n° 2, p. 108-115, mar. 2014.

ZHANG, L.; ZHOU, Z.; ZHANG, G.; MENG, Y.; CHEN, B.; WANG, Y. Monitoring the leaf water content and specific leaf weight of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline soil using leaf spectral reflectance. **Europ. J. Agronomy**, v. 41, p. 103-117, ago. 2012.

ZHANG, L.; ZHOU, Z.; ZHANG, G.; MENG, Y.; CHEN, B.; WANG, Y. Monitoring the leaf water content and specific leaf weight of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in saline soil using leaf spectral reflectance. **Europ. J. Agronomy**, v. 41, p. 103-117, ago. 2012.

ZHANG, T.T., ZENG, S.S., YUGAO, OUYANG, Z., LI, B., FANG, G., ZHAO, B. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 1552-1562, 2011.