

Utilização de índices de vegetação obtidos de dados multiespectrais e hiperespectrais para detectar estresse salino na cultura do arroz

Luis Clenio Jário Moreira ^{1,2}
Adunias dos Santos Teixeira ²
Lênio Soares Galvão ³

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Limoeiro do Norte - CE, Brasil
cleniojario@ifce.edu.br

² Universidade Federal do Ceará – UFC
Caixa Postal 12.168, CE 60450-760 Fortaleza, Brasil
adunias@ufc.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@dsr.inpe.br

Abstract. The purpose of this study was to evaluate multispectral and hyperspectral vegetation indices aimed at characterizing soil salinization from spectral information of rice canopies. The work was performed using plots of rice in the same phenological stage in the second semester of 2013. With a GPS rover, sampling points were marked in the field and then the electrical conductivity (EC) of the soil was measured. Four multispectral vegetation indices (OLI sensor/Landsat-8) and 10 hyperspectral indices (Hyperion/EO-1) were computed. Linear regression was used to describe the relationship between the indices and EC. Spectral information from the Red (R) vs near infrared (NIR) was plotted against EC soil above and below 3.00 dS/m. Spectra of the extracted images indicated an increasing reflectance in red and reducing in NIR and mid infrared (SWIR) with increasing soil EC. In the NIR region, the separation of pixels under stress (EC > 3.00 dS/m) from pixels under normal conditions (EC < 3.00 dS/m) presented good performance. In the evaluation of multispectral indices, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) showed the best results with R^2 of 0.68 and 0.70, respectively. The most promising hyperspectral index is the Salinity and Water Stress Index (SWSI1) with $R^2 = 0.70$. Therefore, from both (OLI and Hyperion) sensors, changes in the canopy reflectance of rice under stress.

Palavras-chave: remote sensing, salt stress, rice, vegetation indices, multispectral, hyperspectral, sensoriamento remoto, estresse salino, arroz, índices de vegetação, multiespectral, hiperespectral.

1. Introdução

A salinização do solo é um dos problemas mais relevantes relacionados à agricultura irrigada em regiões áridas e semiáridas (METTERNICHT e ZINCK, 2003). 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 (ZENG et al., 2001; MELO et al., 2006; FRAGA et al., 2010).

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 hiperespectrais, o que torna possível a obtenção de uma maior quantidade de índices de vegetação, além de permitir o posicionamento de específicas bandas estreitas ligadas a certas características biofísicas das culturas agrícolas (CHAN e PAELINCKX, 2008). No entanto, dados multiespectrais também têm um bom potencial de uso, já que é possível obter alguns dos índices de vegetação de melhores resultados na caracterização do estresse salino, como por exemplo, NDVI, NDWI e EVI (MARIOTTO et al., 2013). Além disso, a facilidade de adquirir imagens multiespectrais, a resolução temporal, que no caso de culturas agrícolas é relevante, e a capacidade de cobrir grandes áreas são vantagens que devem ser consideradas.

Desta forma, através de índices de vegetação, o presente trabalho investigou o potencial de uso dos dados multiespectrais (OLI/Landsat-8) e hiperespectrais (Hyperion/EO-1) na identificação e caracterização do processo de salinização do solo a partir de dosséis de arroz na mesma fase fenológica (floração).

2. Material e Métodos

2.1 Descrição da área de estudo e da cultura estudada

A área de estudo abrange o distrito de irrigação Morada Nova que está 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 2013, aproximadamente 5.000 ha foram plantadas com a variedade “PUITÁ INTA-CL” que tem porte baixo com ciclo médio de 125 dias.

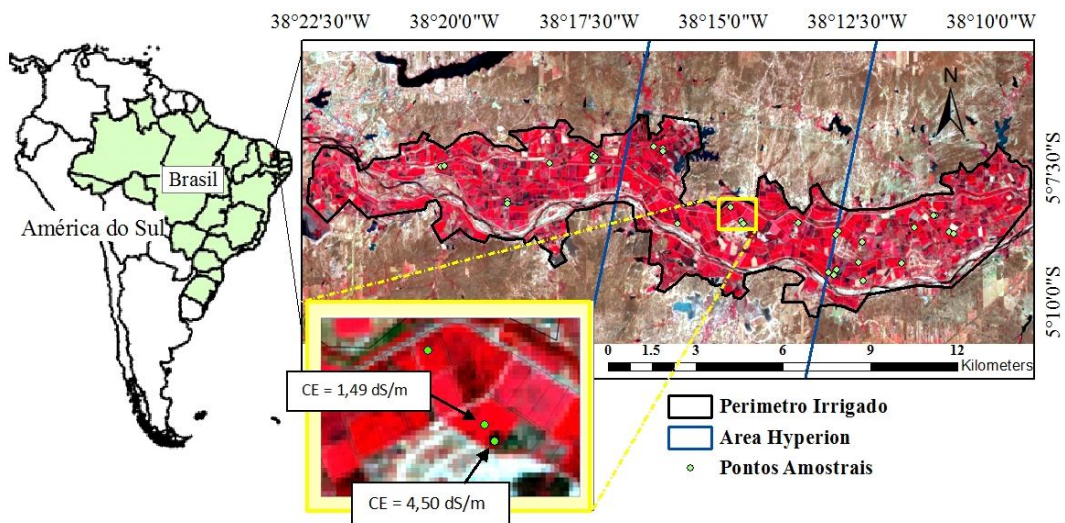


Figura 1. Localização da Área de estudo (distrito de irrigação Morada Nova) no Estado do Ceará. A composição colorida, datada de 30 de outubro de 2013, inclui as bandas 5, 4 e 3 do sensor multiespectral OLI/Landsat-8 em vermelho, verde e azul, respectivamente. A área do imageamento hiperespectral feito com o sensor Hyperion/EO-1 é indicada por linhas azuis. O

quadro destacado é uma ampliação da composição RGB mostrando as diferenças espectrais proporcionadas pela variabilidade espacial da salinização dentro dos talhões.

Normalmente o cultivo de arroz na área é feito em dois períodos ao ano. No primeiro semestre, o ciclo vai de fevereiro a julho e, no segundo semestre, de julho a dezembro, com alta variabilidade das datas de plantio e colheita já que os produtores não seguem um calendário agrícola. De acordo com a data de plantio e informações georreferenciadas dos talhões fornecidos pela AUDIPIMN, foi gerado um mapa do perímetro irrigado com as fases fenológicas atuais do arroz para dia 30 de outubro de 2013 (Figura 2), com objetivo de selecionar talhões para a visita em campo. As fases fenológicas foram estabelecidas segundo adaptação a partir de Counce et al. (2002), com arroz em perfilhamento de 30 a 55 Dias Após Plantio (DAP), floração de 55 a 87 DAP, maturação fisiológica de 87 a 115 DAP, colheita de 115 a 125 DAP e outras (classe designada para os talhões sem informação ou outras culturas).

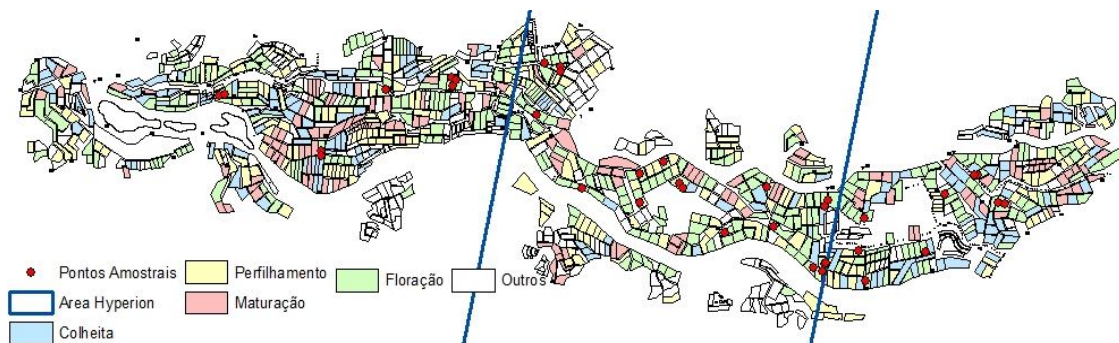


Figura 2. Mapa das fases fenológicas do arroz no dia 30/10/2013 (adaptado de COUNCE *et al.*, 2002) e distribuição espacial dos pontos amostrais dentro do perímetro irrigado Morada Nova. A área do imageamento do sensor Hyperion/EO-1 é indicada por linhas azuis.

2.2 Seleção dos pontos amostrais e coleta de dados de campo

Para investigar o efeito da salinidade do solo no vigor da cultura de arroz foram selecionados pontos amostrais a partir de talhões com a variedade Puitá INTA-CL, plantados entre os dias 10 e 11 de agosto de 2013, buscando manter entre eles uma diferença mínima de idade fisiológica, garantindo que as diferenças espectrais apresentadas não fossem em função da fase fenológica da cultura.

A composição desses pontos foi feita a partir de talhões com variadas intensidades de salinização identificadas por meio de medidas de condutividade elétrica feitas em campo. A dimensão espacial dos pontos foi o equivalente ao tamanho de 5 pixels de uma imagem com resolução espacial de 30 m onde foram realizadas aproximadamente 10 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 80 a 87 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” com precisão de 10 m.

2.3 Análise dos índices de vegetação

Para avaliar o comportamento da reflectância e dos índices de vegetação multiespectrais e hiperespectrais 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.

Na análise foram usados 31 pontos amostrais a partir da imagem OLI/Landast-8 de 30 de outubro de 2013 (80 DAP) (Path 216 e row 64) e 16 pontos amostrais da imagem Hyperion/EO-1 em 01 de novembro de 2013 (82 DAP) (Path 216 e row 63). Para avaliar as diferenças de reflectância entre os pontos e sob variadas intensidades do estresse salino foram plotados espectros obtidos das duas fontes de dados.

A aquisição das imagens OLI/Landsat-8 e Hyperion/EO-1 foi através do visualizador USGS - Global Visualization Viewer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). O processamento dos dados multiespectrais e hiperespectrais foi feito com o software ENVI 5.0 envolvendo etapas de conversão dos níveis de cinza para radiância e correção atmosférica com aplicativo *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) obtendo os dados em reflectância. Ainda na imagem Hyperion foi feito processamentos adicionais para minimizar os efeitos de *striping* da imagem, suavização do ruído e georreferenciamento (processo completo descrito em GALVÃO et al., 2005).

Dentre os índices de vegetação listados na Tabela 1, o NDVI, EVI e *Vogelmann Red Edge Index* (VOG1) estão relacionados ao pigmento clorofila; o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) está relacionado ao efeito da reflectância de fundo do solo; 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 multiespectrais e hiperespectrais usados

	Índice	Equação	Referência
OLI/Landsat - 8	NDVI	$(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}})$	Rouse <i>et al.</i> (1973)
	EVI	$2.5 * [(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{NIR}} + 6 * \rho_{\text{R}} - 7.5 * \rho_{\text{Azul}} + 1)]$	Huete <i>et al.</i> (2002)
	SAVI	$(1 + 0,5) * (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}} + 0,5)$	Huete, (1988)
	NDWI	$(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{SWIR}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{SWIR}})$	Gao, (1996)
Hyperion/EO-1	NDVI	$(\rho_{864} - \rho_{671}) / (\rho_{864} + \rho_{671})$	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	$(\rho_{1599} / \rho_{819})$	Hunt e 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; NIR = Infravermelho próximo; R = Vermelho; SWIR = Infravermelho médio; Os comprimentos de ondas nos índices hiperespectrais são os centros das bandas do Hyperion mais próximas das formulações originais dos índices.

3. Resultados e Discussão

3.1 Características espectrais do arroz sob estresse salino com dados OLI/Landsat-8 e Hyperion/EO-1

As Figuras 3a e 3b mostram os espectros de reflectância de três pontos amostrais (mesma idade fisiológica) com diferentes níveis de salinidade do solo, obtidos de imagens OLI/Landsat-8 (80 DAP) e Hyperion/EO-1 (82 DAP), respectivamente. As regiões espectrais com forte influência de absorção atmosféricas próximas a 1400 e 1900 nm, além de uma região próxima a 900 nm, sem informações nos espectros do Hyperion, foram omitidas. Os pontos analisados apresentaram comportamento espectral similar nas duas fontes de dados. 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.

Apesar da proximidade das datas de aquisição, podem ser identificadas diferenças significativas na magnitude de reflectância originada das duas imagens. Ao longo de todas as regiões espectrais a reflectância obtida do OLI é inferior a obtida a do Hyperion e isso pode ser explicado pelo fato da imagem multiespectral ser obtida ao Nadir e a imagem hiperespectral no off-nadir (ângulo de visada -20°) na direção de retroespalhamento, (GALVÃO *et al.*, 2013).

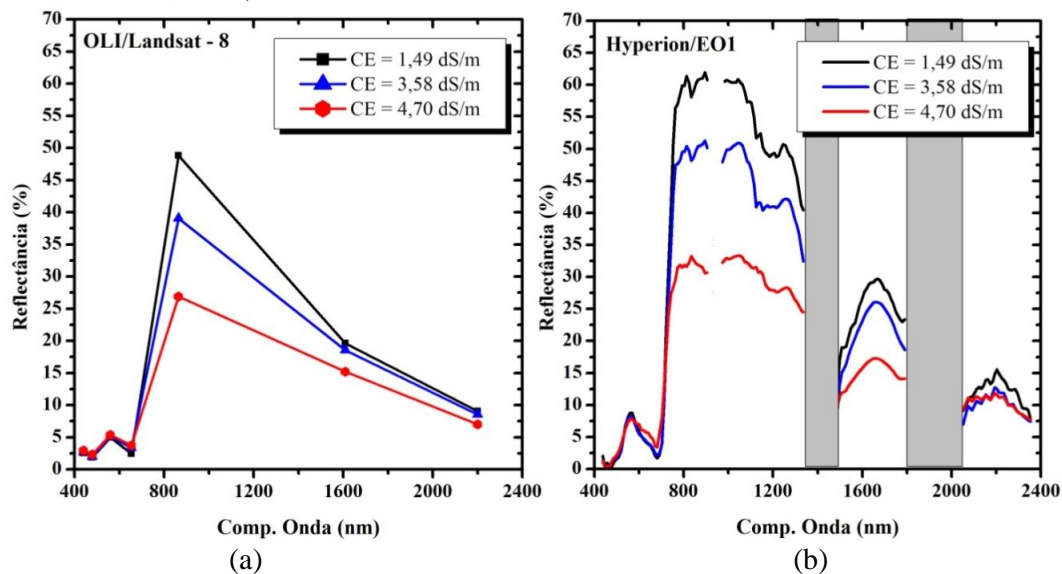


Figura 3. Perfis espectrais de três dosséis (mesma data de plantio) com diferentes condutividades elétricas do solo. a) Espectros do OLI/Landsat-8 e b) Espectros do Hyperion/EO-1.

3.2 Relação entre Índices de vegetação Multiespectrais, Hiperespectrais e Salinidade do Solo

Os resultados estatísticos da relação entre os índices de vegetação e a salinidade do solo para dados multiespectrais e hiperespectrais são apresentados na Tabela 2. Independente da fonte de dados (multi- ou hiperespectral) e do tamanho amostral, os índices relacionados ao pigmento clorofila (NDVI, VOG1, EVI) apresentaram significativas correlações negativas com a salinidade do solo com valores de R^2 variando de 0,41 a 0,70 e de 0,31 a 0,51 para os índices multiespectrais e hiperespectrais, respectivamente. 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).

Os índices relacionados ao conteúdo de água do dossel apresentaram resultados moderados com R^2 de 0,41 para NDWI com dados multiespectrais e R^2 de 0,32; 0,33; 0,26 e 0,45 para MSI, NDII, LWVI-2 e NDWI, respectivamente, para dados hiperespectrais.

Dentre os índices hiperespectrais o melhor resultado foi do SWSI 1 ($R^2 = 0,70$) 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.

Tabela 2. Resultados estatísticos da análise por regressão linear entre os índices de vegetação e salinidade do solo (CE) para o conjunto dados do OLI/Landsat-8 (n = 31) e Hyperion/EO-1 (n = 16).

	Índice	Equação	R^2	Sig.
Multiespectral (OLI/Landsat -8)	NDVI	$y = -0,054x + 0,98$	0,68	0,000
	EVI	$y = -0,215x + 1,77$	0,70	0,000
	SAVI	$y = -0,082x + 1,46$	0,68	0,000
	NDWI	$y = -0,038x + 0,51$	0,41	0,000
Hiperespectral (Hyperion/EO-1)	NDVI	$y = -0,055x + 1,02$	0,40	0,009
	VOG1	$y = -0,099x + 1,83$	0,42	0,006
	EVI	$y = -0,279x + 2,61$	0,51	0,002
	PRI	$y = 0,006x - 0,16$	0,03	0,506
	MSI	$y = -0,042x + 0,34$	0,32	0,022
	NDII	$y = -0,040x + 0,45$	0,33	0,019
	LWVI-2	$y = -0,010x + 0,12$	0,26	0,041
	NDWI	$y = -0,033x + 0,19$	0,45	0,004
	DSWI-1	$y = -0,201x + 2,60$	0,39	0,009
	SWSI 1	$y = -0,853x + 7,26$	0,70	0,000

A quantidade de índices de vegetação de bandas largas calculados a partir de imagens multiespectrais (p. ex., OLI) é bem limitada em relação ao número de índices hiperespectrais de bandas estreitas (p. ex., Hyperion). Além disso, dados hiperespectrais produzem informações de melhor qualidade comparada aos sensores de bandas largas (MARIOTTO et al., 2013). No entanto, os índices de vegetação obtidos com OLI, neste trabalho, exceto o NDWI, produziram R^2 superiores aos dos índices obtidos do Hyperion. Uma explicação para esse comportamento pode ser o fato do estresse salino reduzir significativamente a quantidade de biomassa dos dosséis o que pode ser bem identificado com dados multiespectrais.

Segundo MELO et al. 2006, a condutividade elétrica do solo para causar danos à cultura do arroz e reduzir significativamente a quantidade de biomassa do dossel é de aproximadamente 3,0 dS/m. Para verificar o comportamento da reflectância nas regiões do vermelho e do NIR nas áreas acima e abaixo desse limite crítico foram produzidas as Figuras 4a e 4b (OLI e Hyperion, respectivamente) a partir dos pixels usados para calcular as médias dos pontos amostrais. Essas figuras ainda deixam claro que os bons resultados obtidos com os índices ligados ao pigmento clorofila podem ser atribuídos basicamente à região do NIR que teve forte relação com o estresse salino. Isso ainda explica o fato do EVI ter produzido melhores resultados em relação ao NDVI, já que o primeiro índice tem forte dependência do NIR e o segundo apresenta uma maior dependência na banda do vermelho, ficando mais evidente com os índices obtidos a partir dos dados hiperespectrais (MOURA et al., 2012).

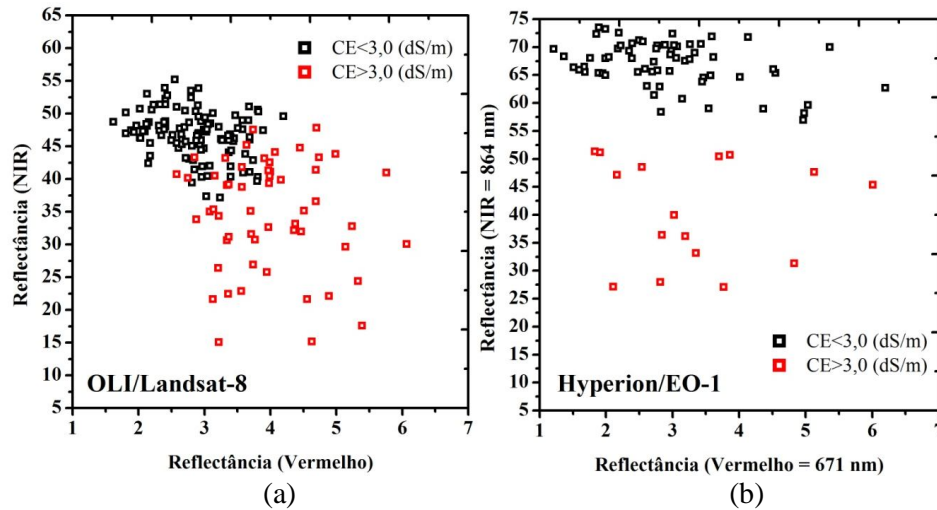


Figura 4. Reflectância no vermelho vs infravermelho próximo para todos os pixels com $3,0 \text{ dS/m} > \text{CE} < 3,0 \text{ dS/m}$ que compõem os pontos amostrais. a) Dados do OLI/Landsat-8 ($n = 186$ pixels) e b) dados do Hyperion/EO-1 ($n = 78$ pixels).

4. Conclusões

Com ambos os sensores (OLI e Hyperion) podem ser identificadas 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 pelos sensores OLI e Hyperion, portanto, a largura das bandas espectrais não foi um fator limitante para uma boa resposta dos índices de vegetação. Nas duas fontes de dados os índices ligados ao pigmento clorofila (exp. NDVI, EVI, etc) apresentaram correlações significantes e podem ser usados para detectar o estresse da salinidade do solo no arroz. No caso dos índices hiperespectrais, a associação de regiões ligadas à clorofila com regiões referentes ao teor de água no dossel melhoraram as estimativas.

Referências Bibliográficas

- 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.º. 2, p.489–498, 2004.
- CHAN, J. CHEUNG-WAI.; PAELINCKX, D. Evaluation of random forest and adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2999-3011, jun. 2008.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.L., An uniform and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, p.436-443, 2002.
- 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.º.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.
- GALVÃO, L.S.; BREUNIG, F.M.; SANTOS, J.R. DOS.; MOURA, Y.M. View-illumination effects on hyperspectral vegetation indices in the Amazonian tropical forest. **ITC Journal**, v. 21, p. 291-300, 2013.
- 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.º. 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. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

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.º1-2, 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 HypSPIRI mission. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 291-305, dez. 2013.

MELO, P.C.S.; ANUNCIÇÃO FILHO, C.J.; OLIVEIRA, F.J.; BASTOS, G.Q.; TABOSA, J.N.; SANTOS, V.F.; MELO, M.R.C.S. Seleção de genótipos de arroz tolerantes a salinidade na fase de germinação. **Ciência Rural**, v.36, p.58-64, 2006.

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.

MOURA, Y.M.; GALVÃO, L.S.; SANTOS, J.R.; ROBERTS, D.A.; BREUNIG, F.M. Use of MISR/Terra data to study intra- and inter-annual EVI variations in the dry season of tropical forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p. 260-270, dez. 2012.

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.

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.º. 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.º.2, p. 108-115, mar. 2014.

ZENG, L.; SHANNON, M. C.; LESH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 48, p. 191-206, 2001.

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.