

## Índice TVDI para mapeamento das culturas de arroz irrigado e soja em áreas agrícolas de Pelotas e Camaquã/RS

Vagner Paz Mengue<sup>1</sup>  
Denise Cybis Fontana<sup>2</sup>  
Juliano Schirmbeck<sup>1</sup>  
Lucimara Wolfarth Schirmbeck<sup>1</sup>  
Mauro Ricardo Nóbrega<sup>1</sup>  
Luis Felipe Abuchain Costa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia  
CEPSRM/UFRGS  
Caixa Postal 15.074 – 91.501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil  
vagnergeo@yahoo.com.br, schirmbeck.j@gmail.com, lucimaraws@gmail.com,  
nobrega.mauro@gmail.com, luisfelipecosta@hotmail.com

<sup>2</sup>Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/ Faculdade de Agronomia -  
UFRGS  
Caixa Postal 776 – 91.540-000 – Porto Alegre - RS, Brasil  
dfontana@ufrgs.br

**Abstract.** In the State of Rio Grande do Sul/Brazil crops of irrigated rice and soybeans have similar phenological cycles, which makes applying remote sensing techniques for identification and mapping becomes complex. One of the alternatives that can be tested to distinguish these crops is the use of TVDI index. The objective of this work was to analyze the spectro-temporal pattern of TVDI index in crop areas of irrigated rice and soybeans and test a methodology for mapping and differentiation of these crops from the use of data from Landsat 8. This study was conducted in areas producers of irrigated rice and soybeans for the 2013/2014 season, a scene of Landsat 8 (Path-Row 221/82). Were eight images Landsat 8 for all development cycle of crops. A field study was also conducted to assess the quality of the data classification with TVDI images. The proposed methodology to map areas of irrigated rice and soybeans show to be efficient, the TVDI index proved to be very consistent to separate the two cultures studied, with strong relationship between the index with humidity conditions of the soil and vegetation, essential for the correct spectral separability and subsequent mapping. A Global Accuracy of 95.41% and a Kappa Index of 0.8861 for the rice crop, and Global Accuracy of 91.37% and Kappa Index of 0.7991 for the soybean crop.

**Palavras-chave:** Landsat 8, termal, agricultura, sensoriamento remoto

### 1. Introdução

No Estado do Rio Grande do Sul a soja e arroz irrigado são as principais culturas de primavera-verão, responsáveis pela maior parte da produção de grãos. Estas segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), correspondem a 79,51% da área e de 67,62% da produção total no Estado. A realização de levantamentos confiáveis das áreas agrícolas e de sua dinâmica proporciona ao governo formas de aprimorar as políticas de abastecimento, regular os estoques, a oferta, a demanda e conseqüentemente os preços. Nesse contexto, é importante o desenvolvimento de técnicas que levem a melhorias na produção de informações agrícolas, o que pode ser obtido a partir do uso de dados oriundos de sensoriamento remoto.

A cultura da soja nos últimos anos tem apresentado alteração no perfil da produção, com expansão para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul, principalmente em regiões não tradicionais de cultivo, ocupadas pela pecuária e pela produção de arroz e do bioma pampa (Santos et al, 2014). Os municípios de Pelotas e Camaquã se destacam como um dos maiores produtores de arroz irrigado do Estado, mas nos últimos anos a soja vem ganhando

destaque. Este fato ressalta a importância e necessidade de técnicas de monitoramento capazes de acompanhar esta dinâmica.

É muito comum em programas de monitoramento da produção agrícola o uso do atributo temporal como critério para identificação e mapeamento. Entretanto, no Estado, as culturas do arroz irrigado e da soja apresentam ciclos fenológicos similares, o que faz com que a aplicação deste tipo de enfoque se torne pouco confiável.

Uma das alternativas que pode ser testada para diferenciar a cultura do arroz irrigado e a soja é a utilização do índice TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*) desenvolvido por Sandholt et al. (2002). Diversos estudos sugerem que através da combinação da temperatura de superfície ( $T_s$ ) com o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pode-se obter informação consistente sobre o estresse da vegetação e as condições de umidade da superfície (NEMANI et al., 1993; SANDHOLT et al., 2002; CARLSON, 2007). Como o arroz irrigado é cultivado em áreas de várzea, a cultura é afetada de maneira significativa pela lâmina de água proveniente do sistema de irrigação por inundação. Nesta condição, a temperatura da superfície dessas áreas é menor em relação às áreas de outras culturas, como a soja, e pode, portanto, ser um critério para a separabilidade espectral e posterior mapeamento dessas culturas.

Diante do que foi apresentado, esse trabalho teve como objetivo analisar o padrão espectro-temporal do índice TVDI em áreas de cultivo de arroz irrigado e de soja além de testar uma metodologia para mapeamento e diferenciação destas culturas a partir da utilização de dados do satélite Landsat 8.

## 2. Metodologia de Trabalho

No estudo foi utilizada uma cena do satélite Landsat 8 (órbita-ponto 221/82, com resolução espacial de 30 m), que abrange os municípios de Camaquã e Pelotas, no Estado do Rio Grande do Sul, para o período de agosto de 2013 a abril de 2014 (Figura 01).

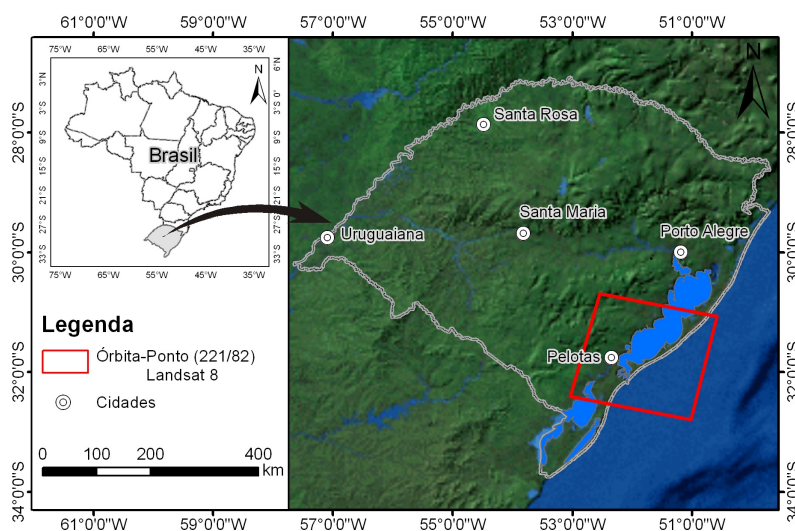


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo.

Para contemplar todo o ciclo de desenvolvimento das culturas do arroz irrigado e da soja, foram utilizadas 8 datas do Landsat 8. A diferenciação das culturas foi feita utilizando o índice TVDI, desenvolvido por Sandholt et al. (2002), o qual é indicador do estresse hídrico da vegetação. O TVDI (Equação 1) tem por base a temperatura da superfície (banda 10) e o índice de vegetação (NDVI) e varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1 mais estresse ocorre.

$$\text{TVDI} = (T_s - T_{s\text{min}}) / (a + b * \text{NDVI} - T_{s\text{min}}) \quad (1)$$

onde:  $T_s$  é a temperatura radiativa da superfície do pixel;  $T_{\min}$  é a temperatura mínima de superfície, correspondente ao limite úmido; "a" e "b" são os coeficientes linear e angular da reta, que representa o limite seco. Estes limites, seco e úmido são obtidos a partir de um gráfico de dispersão entre NDVI e a  $T_s$  e são utilizados para normalização do modelo. Como o estudo pretende analisar o padrão do índice ao longo da safra nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas do arroz e soja, foram determinados os parâmetros a e b para cada data de aplicação do modelo.

Para a geração da imagem termal foi utilizado o infravermelho termal (banda 10), sendo utilizados os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza (NC) para radiância, depois para temperatura em kelvin, através das equações 2 e 3, disponíveis no Serviço Geológico Americano.

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

onde,  $L_\lambda$  é a radiância espectral do sensor ( $W/(m^2.srad.\mu m)$ );  $M_L$  é o fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 =  $3,3420E-04$ ;  $Q_{cal}$  é o valor quantizado e calibrado pelo pixel em NC;  $A_L$  é o fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,1

Para converter os dados de radiância para temperatura de brilho em Kelvin aplicou-se a Equação 3.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

onde: T é a temperatura de brilho (K);  $K_2$  é a constante de calibração 2 = 1,321.08 (K);  $K_1$  é a constante de calibração 1 = 774,89 (K);  $L_\lambda$  é a radiância espectral do sensor ( $W/(m^2.srad.\mu m)$ ).

Para a geração das imagens NDVI foi realizada a correção atmosférica pelo módulo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) do aplicativo ENVI, que incorpora o código de transferência radiativa MODTRAN 4. O NDVI foi obtido a partir da razão entre a subtração e soma das reflectâncias das bandas da região do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), Equação 4.

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad (4)$$

Foi então realizado o empilhamento temporal das imagens, procedimento necessário para construir os perfis espectro-temporais de NDVI e TVDI. Com o objetivo de eliminar ou minimizar a interferência de ruídos oriundos da presença de nuvens, falhas do detector, geometria de visada, dentre outros, e suavizar a curva espectro-temporal, foi realizada a aplicação do filtro *flat botton smoother* (WARDLOW et al., 2006).

A série temporal NDVI foi utilizada para geração das máscaras de cultivo das culturas de primavera-verão. Devido à possível variabilidade de datas de semeadura entre as lavouras de arroz irrigado e de soja, utilizaram-se imagens compostas de mínimo valor (relacionada a implantação da cultura) e de máximo valor (relacionada ao máximo vigor das lavouras) de NDVI. Para a elaboração das imagens de mínimo NDVI foi utilizado o período de 30/08/13 a 04/12/2014 (4 imagens), contemplando a fase de pré-plantio e desenvolvimento inicial das culturas. Já para a geração da imagem de máximo NDVI foi utilizado o período de 04/12/13 a 27/04/14 (5 imagens).

Após, foi realizada a classificação das imagens de mínimo e máximo NDVI utilizando-se o método de classificação supervisionada paralelepípedo. As amostras para treinamento do classificador foram coletadas em uma imagem de composição colorida RGB, usadas para destacar as áreas cultivadas com as culturas de primavera-verão. Na elaboração da composição colorida, a imagem de máximo foi colocada no canal R (vermelho) e a imagem de mínimo foi colocada nos canais G (verde) e B (azul). As áreas em vermelho representam as culturas de verão e as demais cores, os outros alvos.

De posse da máscara de cultivo das culturas de verão, a próxima etapa foi separar a cultura do arroz irrigado da cultura da soja, o que foi feito utilizando as imagens TVDI. Usando os vetores construídos com os dados de campo foram identificados os valores de TVDI que melhor representavam as áreas de arroz irrigado e soja. Os intervalos de TVDI que correspondem aos valores identificados como arroz irrigado e soja foram submetidos a uma escolha estatística partindo da média de TVDI e somadas diferentes combinações do desvio padrão. A data da imagem escolhida para identificar os intervalos foi do dia 21 de janeiro de 2014. Para a cultura do arroz irrigado definiu-se o intervalo médio de 0,1832 mais ou menos a soma de 0,2257 desvios padrão e para a cultura da soja o intervalo médio de 0,6341 mais ou menos 0,2098 desvio padrão (Tabela 01).

Tabela 01: Estatística dos valores de TVDI em lavouras de arroz irrigado e soja.

	Média ( $\sigma$ )	Desvio-Padrão( $\sigma$ )	TVDI-Inicial( $\sigma$ )	TVDI-Final( $\sigma$ )
Arroz irrigado	0,1832	0,2257	-0,0425	0,4089
Soja	0,6341	0,2098	0,4242	0,8439

O último passo foi classificar a imagem TVDI com os intervalos definidos na Tabela 01 para cada cultura, resultando numa imagem classificada de arroz irrigado e soja.

Para validar os resultados da classificação das imagens TVDI, foram utilizados dados de campo. O levantamento dos dados de referência foi realizado entre os dias 7 e 8 de abril de 2014, a fim de avaliar a qualidade dos resultados obtidos no processo de classificação e interpretação das imagens. Foram, então, realizadas as análises do índice kappa (IK) e a exatidão global (EG) da classificação.

### 3. Resultados e Discussão

Com a utilização do índice TVDI, gerado através dos dados Landsat 8, foi possível a identificação das áreas de arroz irrigado e soja, permitindo uma correta separação destes cultivares que apresentam ciclos fenológicos similares. A combinação dos dados de NDVI e Ts para gerar o índice TVDI foi a chave para a correta separação das culturas, as áreas cultivadas com arroz irrigado estão em solos de várzea e são afetadas diretamente pela lâmina d'água proveniente do sistema de irrigação, fazendo com que a Ts dessas áreas tenha uma média inferior as registradas nas áreas de soja.

A utilização somente do atributo espectro-temporal com os dados NDVI não foi suficiente para separar as duas culturas, visto que o ciclo fenológico é muito similar, mas percebe-se que os dados de Ts dessas culturas são diferentes (Figura 02). Especialmente nas fases iniciais do cultivo, quando as culturas estão sendo preparadas para o plantio e o solo exposto é o que predomina, a Ts é similar, mas à medida que a lâmina de água vai sendo introduzida nas áreas de arroz irrigado (Klering et al. 2013), a Ts diminui. Nas áreas de soja, onde essa lâmina de água não está presente, a Ts é mais elevada, principalmente nos meses de máximo desenvolvimento vegetativo das duas culturas.

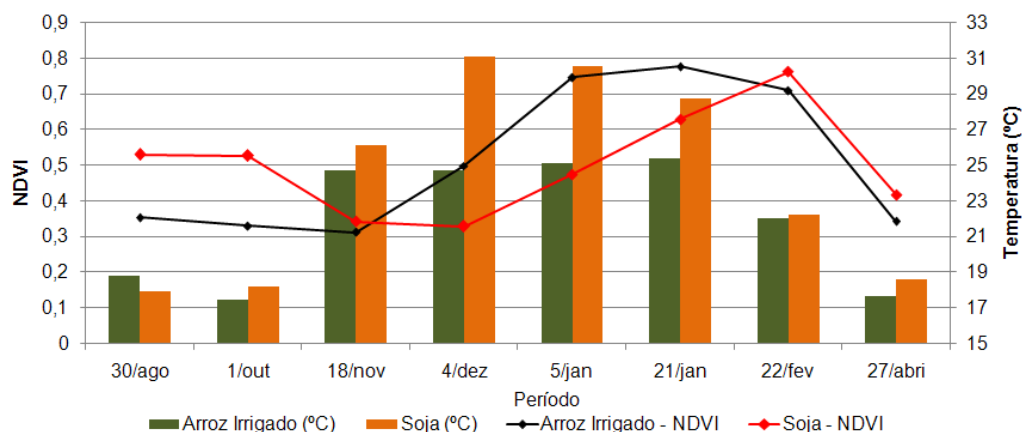


Figura 02: Perfil temporal do NDVI associado a Temperatura de superfície para as áreas de arroz irrigado e soja, imagem Landsat 8 (órbita-ponto 221/82).

As diferenças de temperatura podem também ser observadas no transecto traçado na imagem de temperatura de superfície do dia 21 de janeiro, com horário de passagem do satélite as 11:20 do horário local. Observa-se valores de 25°C para as áreas de arroz irrigado e de 28°C para as áreas de soja, ou seja, uma amplitude térmica de 3°C (Figura 03 e Figura 04). O padrão observado na região está de acordo com os fundamentos do balanço de energia das superfícies: quando há água disponível, há maior consumo na forma de evaporação e, portanto, menor quantidade de energia é destinada para aquecimento do solo. Coerentemente, as maiores temperaturas são observadas sobre a rodovia.

Quando comparamos os resultados médios de temperatura obtidos nas áreas de arroz irrigado e soja na imagem do dia 4 de dezembro (Figura 02), a diferença de temperatura entre essas duas culturas é ainda maior, com uma amplitude maior que 6°C, essa maior diferença de temperatura está associada à introdução da lâmina de água nas áreas de arroz irrigado.

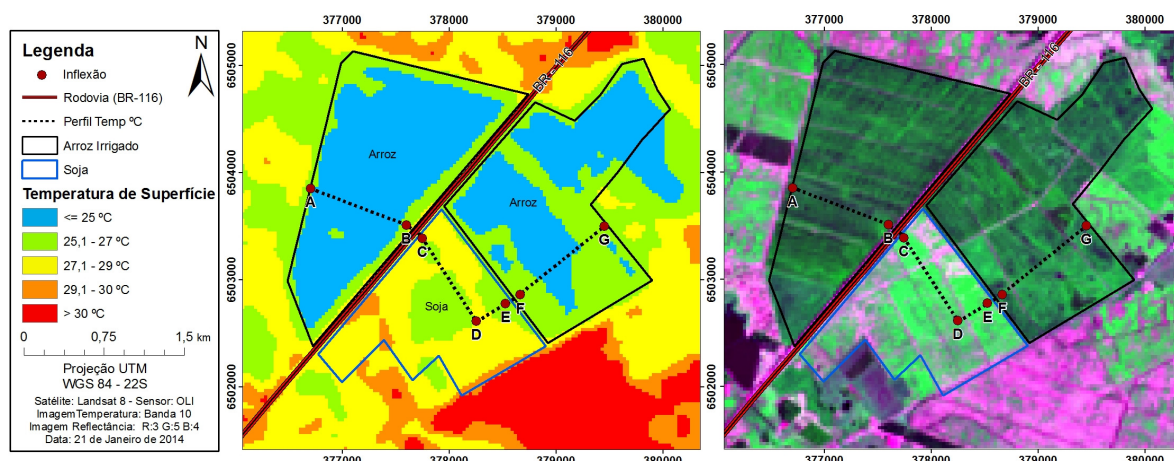


Figura 03: Mapa do transecto com o objetivo de registrar as diferentes temperaturas de superfície para a cultura do arroz irrigado e a soja.

Analisando o índice TVDI para as lavouras de arroz irrigado e soja, é possível verificar que no período que compreende o máximo desenvolvimento vegetativo das culturas (janeiro e fevereiro) é quando ocorrem as maiores diferenças (Figura 05). Na imagem do índice TVDI de 5 de janeiro os valores médios para as áreas de arroz irrigado foram em torno de 0,2, enquanto as áreas classificadas como soja registraram valores próximos de 0,8, portanto uma diferença muito significativa entre as culturas. Pertovt (2008) ao analisar o índice TVDI com séries temporais AVHRR – NOAA para o Estado do Rio Grande do Sul observou que os maiores valores do índice são registrados nos meses de verão, que coincide com os períodos

de deficiência hídrica, evidenciando forte relação deste índice com as condições hídricas dos solos e da vegetação.

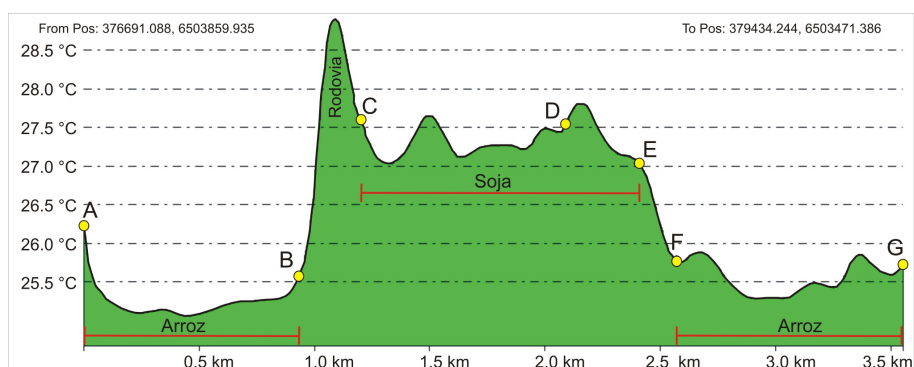


Figura 04: Transecto do campo térmico de superfície (°C) da imagem termal TIRS/Landsat 8, do dia 21 de janeiro, registrando as variações conforme as culturas em estudo.

Espectralmente, a cultura do arroz irrigado possui características muito distintas das demais; em teoria, o sistema de irrigação deveria permitir que a cultura do arroz irrigado fosse facilmente distinguida das demais através de técnicas de sensoriamento remoto (GUMMA et al., 2011). No entanto, quando verificamos o perfil espectro-temporal de NDVI (Figura 02) nas áreas agrícolas de arroz irrigado e comparamos com outros cultivos de primavera-verão, como a soja, podemos perceber que o ciclo é muito semelhante, podendo desta maneira ser facilmente incluída no mapeamento. Quando incluímos a variável temperatura de superfície e associamos com valores de NDVI, para gerar o índice TVDI e analisamos seu perfil espectro-temporal, podemos verificar que as áreas de arroz irrigado são facilmente detectadas quando comparadas com a soja, principalmente nos meses de máximo desenvolvimento vegetativo das culturas.

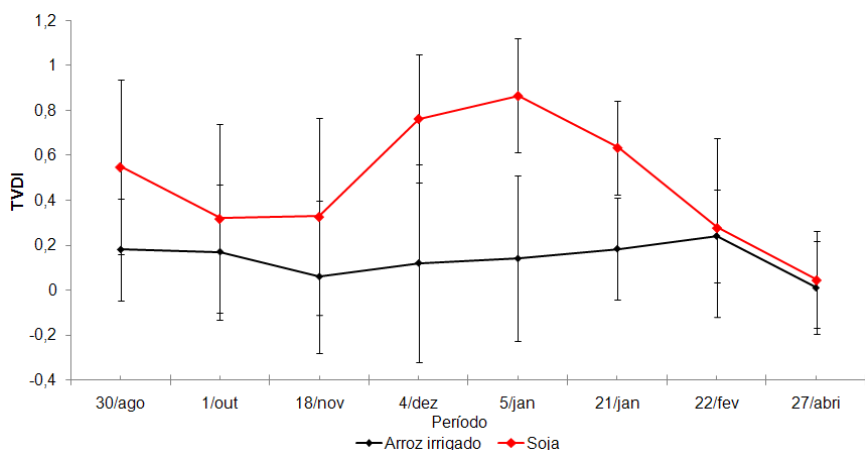


Figura 05: Gráfico espectro-temporal das áreas de arroz irrigado e soja com o índice TVDI, gerado com as imagens Landsat 8 (órbita-ponto 221/82).

A comparação dos dados de referência coletados em campo, com os mapas da classificação do índice TVDI mostra que as áreas de arroz irrigado apresentaram melhores resultados, quando comparados com os dados da classificação de soja. A exatidão global foi de 95,41% e o índice kappa foi de 0,8861 para a cultura do arroz irrigado, os maiores erros de inclusão envolveram a confusão espectral com a soja, devido a rotação de cultura com o arroz irrigado nas áreas de várzea, onde a umidade do solo é maior e as temperaturas de superfície são em geral mais baixas, portanto, causando confusão no mapeamento entre as culturas. Resultados semelhantes a esse foram encontrados em outros trabalhos, que utilizaram dados

de campo para validar suas classificações. García et al. (2010) identificaram áreas de cultivo de arroz nas províncias de Cundinamarca e Tolima na Colômbia em uma área de 4.519,01 km<sup>2</sup>, com dados NDVI provenientes do Landsat 7 ETM+ e ASTER e comparam os resultados com um mapa gerado por dados obtidos em campo. Foram encontrados valores de IK entre 0,45 e 0,74 e EG superior a 72%.

Tabela 02: Matriz de confusão para a cultura do arroz irrigado para a classificação TVDI.

		Referência de campo			
		arroz	não arroz	Total	Erro inclusão [%]
Classes do Mapa temático	arroz	95	12	107	11,2
	não arroz	5	259	264	1,9
Total pontos de campo		100	217	<b>371</b>	
Erro omissão [%]		5	4,6		

Já para a soja, o valor de exatidão global foi de 91.37% e o índice kappa foi de 0.7991 (Tabela 03). Ao comparar trabalhos que utilizaram dados do Landsat para mapear áreas de soja, Mercante et al. (2012) encontraram valores de IK acima de 0,63 e EG de 79,05%, quando comparam imagens espectro-temporais do Landsat-5/TM para a safra 2008/2009 com os resultados obtidos por meio de amostragem de pontos de controle, para detectar áreas semeadas com soja em municípios do Oeste do Estado do Paraná.

Tabela 03: Matriz de confusão para a cultura da soja para a classificação TVDI.

		Referência de campo			
		soja	não soja	Total	Erro inclusão [%]
Classes do Mapa temático	soja	240	26	266	9,7
	não soja	6	99	105	5,7
Total pontos de campo		246	125	<b>371</b>	
Erro omissão [%]		2,4	20,8		

#### 4. Conclusões

A metodologia proposta para mapear as áreas de cultivo de arroz irrigado e soja, mostrou-se eficiente, mostrando grande exatidão da classificação com os dados de campo. O índice TVDI mostrou-se muito consistente para separar as duas culturas estudadas, com forte relação do índice com as condições de umidade dos solos e vegetação, fundamental para a correta separabilidade espectral e posterior mapeamento. Esta metodologia ainda necessita de estudos com outros tipos de sensores e diferentes escalas de análise, para torná-la aplicável em âmbito regional.

#### Referências Bibliográficas

Carlson, T.N.; Gillies, R.R.; Schmugge, T.J. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.77, p.191–205, 1995.

García, J. S. A.; Martínez, M. L. J. Satellite image based method for rice (*Oryza sativa L.*) crop identification. *Journal Agronomía Colombiana*. v.28, n.2, p.281-290, 2010.

Gumma, M. K.; Nelson, A.; Thenkabail, P. S.; Singh, A. N. Mapping rice areas of South Asia using MODIS multitemporal data. **J. Appl. Remote Sens.** v.5 p.053547-053547-26, 2011.

Klering, E. V.; Fontana, D. C.; Alves, R.; Rocha, J.; Berlato, M. A. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado para o estado do rio grande do sul a partir de imagens Modis. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.35, n.2, p.126-135, dez. 2013.

Mercante, E.; Lima, L. E. P.; Justina, D. D.; Uribe-Opazo, M. A.; LAMPARELLI. Detection Of Soybean Planted Areas Through Orbital Images Based On Culture Spectral Dynamics. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.920-931, set./out. 2012.

Nemani, R.R., Pierce, L., Running, S.W., Goward, S. Developing satellite derived estimates of surface moisture status. **Journal Applied Meteorology**, v.32,n.3, p.548–557, 1993.

Pertovt, L. E. Estimativa do stress hídrico da vegetação e análise de suas condicionantes geoambientais no Vale do Rio dos Sinos: uma aplicação de sensoriamento remoto. **Dissertação de mestrado**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2008.

Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, v.79, n.2-3, p.213–224, 2002.

Santos, J. S.; Fontana, D. C.; Silva, T. S. F.; Rudorff, F. T. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Rev. bras. eng. agríc. Ambient**, Campina Grande, V.18, n.1, p.54-63, 2014.

Wardlow, B.D.; Kastens, J.H.; Egbert, S.L. Using USDA Crop Progress Data and MODIS Time-Series NDVI for Regional-Scale Evaluation of Greenup Onset Date. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.72(11): p.1225- 1234, 2006.