

USO DO ÍNDICE TVDI E MODELO HAND PARA CARACTERIZAÇÃO DE CONDIÇÃO HÍDRICA

LUCIMARA WOLFARTH SCHIRMBECK¹; DENISE CYBIS FONTANA²;
JULIANO SCHIRMBECK³ E VAGNER PAZ MENGUE⁴

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, lucimaraws@gmail.com.

² Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, dfontana@ufrgs.br.

³ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, schirmbeck.j@gmail.com.

⁴ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, vagnergeo@yahoo.com.br.

1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a adequação do índice TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*), obtido com sensores remotos orbitais, para caracterizar a condição hídrica de lavouras de soja no sul do Brasil. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8-OLI, obtidas da base de dados da USGS (*United States Geological Survey*), de três datas ao longo do ciclo da cultura da soja (5 de dezembro 2014 – implantação, 6 de janeiro 2015 - início de desenvolvimento e 7 de fevereiro de 2015 – pleno desenvolvimento vegetativo). A área de cultivo de soja foi mapeada utilizando classificação digital (máxima verossimilhança) e validada com dados de campo. A área total mapeada foi estratificada em duas classes: áreas de várzea e áreas altas, através do uso do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*). Para tornar possível a comparação entre datas, o TVDI foi determinado usando um triângulo único para as três datas em conjunto, estabelecido a partir dos dados do NDVI (*Normalized Difference vegetation Index*) e da temperatura de superfície (T_s), a qual foi estimada usando o algoritmo *split-window*. O TVDI permitiu diferenciar as condições hídricas na cultura da soja ao longo do ciclo e entre as classes de altitude; as áreas mais altas apresentaram maiores déficits quando comparadas às áreas de várzea. Foi possível ainda visualizar a migração dos pixels de soja dentro do triângulo evaporativo como consequência da fase de desenvolvimento da cultura e das condições hídricas.

Palavras-chave: déficit hídrico, agricultura, Landsat 8-OLI.

**SCHIRMBECK, L. W.; FONTANA, D. C.; SCHIRMBECK, J.; MENGUE, V.P.
TVDI INDEX AND HAND MODEL FOR WATER CONDITION DESCRIPTION**

2 ABSTRACT

This work aims to evaluate the suitability of the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI), achieved through an orbital remote sensing system used to describe the condition of the water to be used on soybean crops in the South Region of Brazil. The Landsat 8-OLI

satellite images were gathered from the USGS (United States Geological Survey) database of three different dates during the soybean crop cycle (December 5th, 2014 - implementation, January 6th, 2015 - beginning of growth and February 7th, 2015 - full vegetative growth). The soybean crop area was mapped using digital classification (maximum likelihood method) and validated with field data. The total mapped area was stratified into two classes: floodplain areas and high areas, using the HAND (Height Above the Nearest Drainage) model. To make the comparison between dates possible, TVDI was determined using a single triangle for all the three dates together, established using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface temperature (T_s) data, which was estimated using Split-window algorithm. TVDI allowed us to differentiate the water conditions during the soybean crop cycle and between the two altitude classes; the higher areas presented larger deficits when compared to the floodplain areas. It was also possible to observe the migration of the soybean pixels within the evaporative triangle as a consequence of the crop's development stage and the water conditions.

Keywords: water deficit, agriculture, Landsat 8-OLI.

3 INTRODUÇÃO

No cenário agrícola brasileiro o Estado do Rio Grande do Sul (RS), localizado no sul do país, é o terceiro maior produtor nacional de soja. Na safra de 2015-2016, a área cultivada foi de 5,455 milhões de hectares, com rendimento médio de 2,97 ton.ha⁻¹ (EMBRAPA, 2016). Apesar das áreas de cultivo de soja estarem consolidadas e se constituírem como a principal cultura de primavera-verão, está se verificando modificações no sistema de produção. Observa-se expansão de área, avançando principalmente para a região do bioma Pampa, metade sul do RS, sobre áreas não tradicionais. O Pampa é caracterizado pela alta diversidade de espécies forrageiras, base da atividade pecuária, mas com crescente produção agrícola, como o avanço da soja tanto nas regiões de várzea ocupadas pelo arroz como também em áreas de pastagens ocupadas pela pecuária (SANTOS et al., 2014; MENGUE et al., 2015). A questão hídrica nestas novas áreas deve ser investigada, visto que no cultivo nas áreas de várzea podem ocorrer problemas de excedente hídrico, assim como o cultivo nas áreas de pastagens podem apresentar problemas de deficiência hídrica superior às observadas nas regiões tradicionais localizadas no norte do estado.

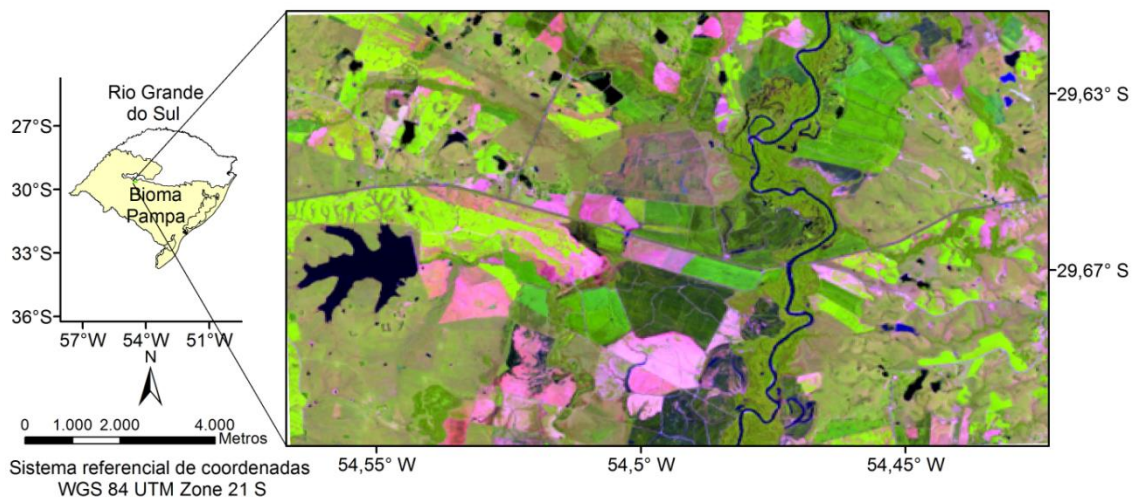
O sensoriamento remoto é uma ferramenta que muito pode contribuir no monitoramento da questão hídrica da soja, especialmente nestas novas áreas. Para tanto é importante à utilização de produtos com grande frequência de revisita, os quais devem possibilitar o acompanhamento da dinâmica agrícola. O índice de umidade do solo o TVDI (do inglês *Temperature-Vegetation Dryness Index*) obtido por imagens orbitais fornece informações confiáveis quanto à condição hídrica, já tendo sido testado por especialistas em diversas partes do mundo (SANDHOLT; RASMUSEN; ANDERSEN, 2002; GAO; GAO; CHANG, 2011; HOLZMAN; RIVAS; PICCOLO, 2014). Apesar de ainda pouco difundido no Rio Grande do Sul, alguns estudos tem demonstrado sua potencialidade (MOREIRA et al., 2015; SCHIRMBECK; FONTANA; SCHIRMBECK, 2015; MENGUE et al., 2015).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a adequação do índice TVDI para caracterizar a condição hídrica de lavouras de soja em diferentes etapas do ciclo e ambientes de cultivo no sul do Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na região central do Estado do Rio Grande do Sul, no bioma Pampa, está localizada a área de estudo (Figura 1). Para o estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8-OLI, obtidas da base de dados da USGS/ESPA, (2017) (*United States Geological Survey/Center Science Processing Architecture*), de três datas ao longo do ciclo da cultura da soja. Foram escolhidas imagens sem presença de nuvens de três períodos importantes para a cultura, a primeira em 05 de dezembro de 2014, período que compreende a implantação da soja; a segunda em 6 de janeiro de 2015, quando a cultura está em início de desenvolvimento e a terceira em 7 de fevereiro de 2015, quando a soja se encontra em pleno desenvolvimento vegetativo.

Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Rio Grande do Sul, com destaque para o bioma Pampa. Imagem Landsat 8 – OLI de 07 de fevereiro de 2015. Órbita/Ponto: 223/81. Composição RGB 6,5,4.



O mapeamento da área de cultivo de soja foi feito utilizando classificação digital e validado com dados de campo realizado em março de 2015. O método de classificação foi por máxima verossimilhança, utilizando as bandas 1 a 7 para a extração das informações temáticas.

Após a classificação, a área total de soja mapeada foi estratificada em duas classes: áreas de várzea e áreas altas, através do uso do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) (NOBRE et al., 2011; RENNÓ et al., 2008) que tem como dados de entrada Modelos Digitais de Elevação (MDE) para mapear a superfície, baseando-se na distância vertical à drenagem mais próxima. Para a implementação foram utilizados dados do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) (NASA, 2000), com resolução espacial de 30 metros. Através de análise visual com auxílio de imagens do satélite Landsat 8-OLI e informações do terreno com os dados SRTM, foram identificadas áreas de várzea, que correspondem às áreas de inundação dos principais cursos d'água existentes na área de estudo. Para isso foi definido uma cota arbitrária de 15 m de inundação baseando-se na distância vertical da drenagem mais próxima (HAND), e cotas acima de 15 metros foram consideradas como áreas altas, que são cotas que mesmo em períodos de cheias, a lâmina d'água dos principais cursos d'água não alcança.

Para as três datas foram obtidas as imagens das bandas 10 e 11 do *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) do Landsat 8, para a obtenção da T_s a partir da aplicação do algoritmo *split-*

window conforme a Equação 1 proposta por Jiménez-Muñoz et al. (2014):

$$T_S = T_{10} + c_1(T_{10} - T_{11}) + c_2(T_{10} - T_{11})^2 + c_0 + (c_3 + c_4w)(1 - \varepsilon) + (c_5 + c_6w)\Delta\varepsilon \quad (1)$$

em que: T_{10} e T_{11} são as temperaturas em Kelvin nas bandas do termal no satélite; c_0 , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 e c_6 são os coeficientes estimados para o satélite, sendo respectivamente: -0,268; 1,378; 0,183; 54,3; -2,238; -129,2; 16,4; w é o conteúdo de vapor de água na atmosfera em $g\ cm^{-2}$; ε é a emissividade média das bandas do termal ($\varepsilon = 0,5 (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11})$); $\Delta\varepsilon$ é a diferença da emissividade nas bandas do termal ($\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10} - \varepsilon_{11}$).

O cálculo das emissividades das bandas 10 e 11 para a vegetação e o solo foram calculados utilizando a Equação 2 proposta por Sobrino, Jiménez Muñoz, e Paolini (2002):

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{Vn}P_V + \varepsilon_{Sn}(1 - P_V) \quad (2)$$

em que: ε_{Vn} é a emissividade da vegetação para cada uma das bandas do termal; ε_{Sn} é a emissividade do solo para cada uma das bandas do termal; P_V é a porcentagem de vegetação.

Os valores das emissividades para o satélite Landsat 8 foram estimados por Yu, Guo e Wu (2014) e são respectivamente: $\varepsilon_{V10}=0,9863$ e $\varepsilon_{V11}=0,9896$; $\varepsilon_{S10}=0,9668$ e $\varepsilon_{S11}=0,9747$.

A porcentagem da vegetação foi estimada atribuindo 3 diferentes limiares do índice de vegetação propostos por Schirmbeck e Rivas (2007); se o NDVI estiver no intervalo de 0 a 0,3 considera-se solo exposto e $P_V = 0$, se estiver entre 0,3 e 0,6 existe uma função linear de duas componentes: solo e vegetação, então deve-se aplicar a Equação 3 para sua obtenção. E se NDVI for superior a 0,6, $P_V = 1$.

$$P_V = 3,333 \times NDVI - 1 \quad (3)$$

Após a obtenção da T_S e com o produto de NDVI, foi então estimado o índice de umidade do solo o TVDI com aplicação da Equação 4 proposta por Sandholt, Rasmusen e Andersen (2002).

$$TVDI = (T_S - T_{Smin}) / (a + b NDVI - T_{Smin}) \quad (4)$$

em que: T_S é a temperatura radiativa do pixel em Kelvin; T_{Smin} é a temperatura mínima de superfície em Kelvin correspondente ao limite úmido do triângulo evaporativo; “a” e “b” são os coeficientes linear e angular da reta que representam o limite seco obtidos a partir do gráfico de dispersão entre o NDVI e a T_S e são utilizados para normalização do modelo.

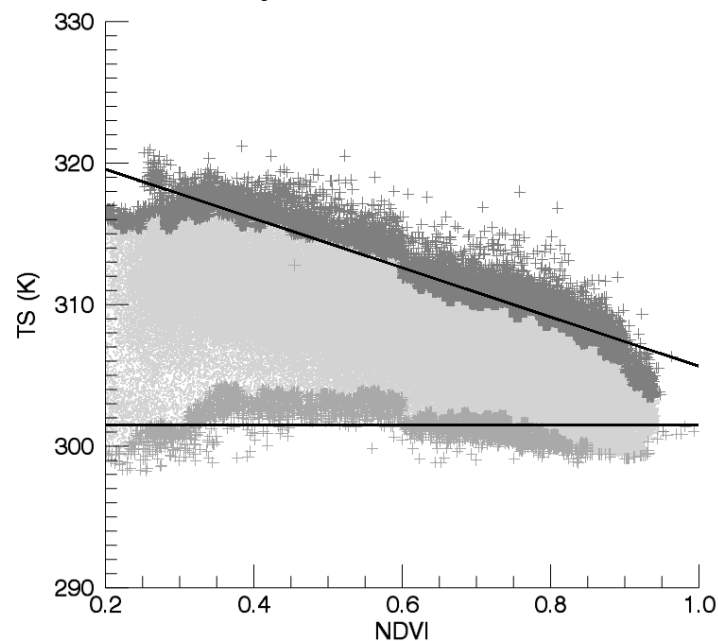
Para tornar possível a comparação entre as três datas, o índice TVDI foi determinado usando um triângulo evaporativo único para todas as datas em conjunto. O índice de umidade do solo TVDI pode variar de zero a 1; quando o TVDI=0 (limite úmido) indica que não há restrição hídrica; já quando TVDI=1 ocorre restrição hídrica, ou seja, o limite seco do triângulo evaporativo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dispersão triangular característica entre o índice de vegetação (NDVI) e a T_S (PRICE, 1990) pode ser visualizada na Figura 2. Este triângulo evaporativo engloba todas as condições de umidade ocorridas ao longo das três datas analisadas para o período de dezembro de 2014

a fevereiro de 2015. Observa-se nesta dispersão a inclinação negativa da reta do limite seco, onde se concentram os pixels mais quentes (TVDI=1) correspondendo para cada NDVI os pixels de maiores temperaturas (SANDHOLT; RASMUSEN; ANDERSEN, 2002). A reta do limite úmido (TVDI=0) é onde se localiza a temperatura de superfície mínima média para o período estudado, que apresentou o valor de 301,5 K, é neste limite úmido onde se concentram os pixels mais frios das imagens analisadas (CARLSON; GILLIES; PERRY, 1994; SANDHOLT; RASMUSEN; ANDERSEN, 2002).

Figura 2. Triângulo evaporativo obtido pela dispersão entre o NDVI e a temperatura de superfície (T_s) para os pixels classificados como soja nas imagens de 05 de dezembro de 2014, 06 de janeiro e 07 de fevereiro de 2015.

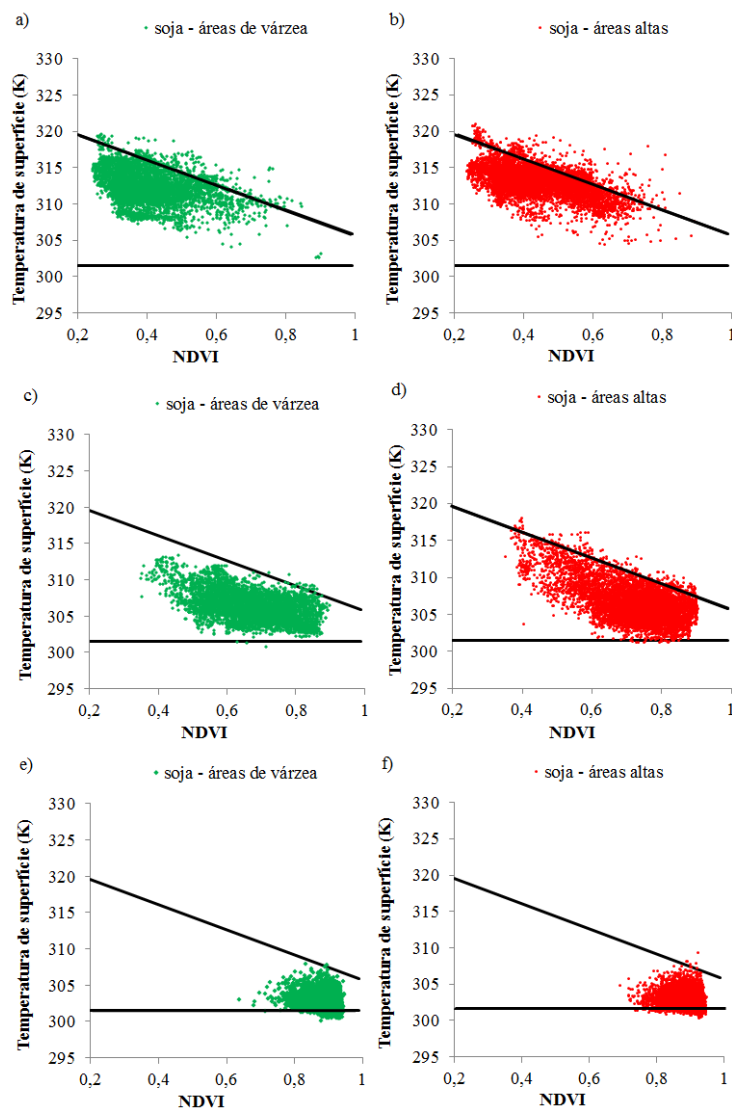


Os triângulos evaporativos para as classes de soja em áreas de várzea e em áreas altas para cada uma das imagens são apresentados na Figura 3. Pode-se observar nestas dispersões que os pixels das classes de soja ocupam distintas posições ao longo do período, o que está parcialmente associado à etapa do ciclo da cultura, mas também às diferenças nas condições hídricas. No período de implantação, com grande presença de solo exposto, referente à imagem de dezembro de 2014, tanto os pixels para as áreas de várzea quanto para as áreas altas (Figura 3a e b) se concentraram no lado esquerdo do triângulo evaporativo com presença de altas T_s e baixo NDVI. Nas dispersões (Figura 3c e d) da imagem de janeiro de 2015, que marca o início do desenvolvimento da cultura (NDVI=0,67 áreas de várzea e NDVI=0,72 áreas altas), os pixels migraram para a área mais ao centro do triângulo evaporativo, associado à cobertura parcial com valores intermediários de T_s e NDVI. Já para o alto desenvolvimento vegetativo ocorrido na imagem de fevereiro de 2015 (Figura 3e e f), quando o NDVI médio para ambas se iguala 0,9, as dispersões se localizaram na extremidade direita com altos índices de vegetação e menores T_s .

Na Figura 3 é possível ainda verificar o deslocamento dos pixels no triângulo evaporativo associadas à localização do cultivo. Os pixels provenientes das áreas de várzea tenderam a se localizar mais próximos do limite úmido, enquanto que os pixels das áreas mais altas tenderam a se aproximar do limite seco. Nas imagens de dezembro e janeiro, o TVDI tendeu a apresentar valores superiores nas áreas altas, o que é coerente com a esperada

tendência de menor disponibilidade hídrica nestas áreas.

Figura 3. Triângulo evaporativo obtido pela dispersão entre NDVI e temperatura de superfície (T_s) para os pixels classificados soja nas áreas de várzea (a, c, e) e nas áreas altas (b, d, f) para as imagens de 05 de dezembro de 2014, 06 de janeiro e 07 de fevereiro de 2015.



Já no período de alto desenvolvimento vegetativo, para a imagem de fevereiro (Figura 3e e f), as áreas de várzeas e as áreas altas apresentaram TVDI médio baixo e similar (0,2). Essa similaridade provavelmente foi causada por eventos de precipitação pluvial que tenderam a uniformizar a condição hídrica na região. Conforme dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET, em Santa Maria, estação meteorológica mais próxima da área de estudo, no período anterior a captura da imagem foi registrado um total de 53,7 mm, o que é quase a metade da precipitação pluvial média para o mês. Corroborando a hipótese de adequado suprimento de água mesmo nas áreas altas, NDVI e T_s apresentaram o mesmo valor médio. Salienta-se que nesta etapa do ciclo a biomassa verde é muito alta e o NDVI tende a saturação (JENSEN, 2009), não tendo, portanto sensibilidade para diferenciar áreas com alguma diferença de densidade de biomassa (saturação). Nesta etapa somente as diferenças na T_s

podem diferenciar condições de umidade. Quando ocorrem restrições hídricas, a planta fecha os estômatos e em consequência ocorre elevação da temperatura (ALLEN et al., 2006). Esta é uma resposta de curto prazo que ocorre frente a restrição hídrica e que o TVDI expressa.

6 CONCLUSÕES

O TVDI permite caracterizar a condição hídrica das lavouras de soja nas condições de manejo do sul do estado do Rio Grande do Sul, onde a cultura ocupa tanto áreas de várzea como áreas mais elevadas. A migração dos pixels de soja dentro do triângulo evaporativo, construído com o NDVI e a T_s , evidencia variações da condição hídrica associadas a eventos de longo prazo (NDVI decorrente da etapa do ciclo) e eventos de curto prazo (T_s decorrente de restrições na evapotranspiração).

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de auxílio financeiro à pesquisa, projeto 456.585/2014-1 e a CAPES pela concessão de bolsa.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 323 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

CARLSON, T. N.; GILLIES, R. R.; PERRY, E. M. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and NDVI measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover. **Remote Sensing Reviews**, New York, v. 9, n. 1-2, p. 161-173, 1994.

EMBRAPA. Soja em Números. Base de dados online, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em 12 jun. 2017.

GAO, Z.; GAO, W.; CHANG, N. Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 13, n. 3, p. 495-503, 2011.

HOLZMAN, M. E.; RIVAS, R. E.; PICCOLO, M. C. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 28, p. 181–192, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C.; SOBRINO, J.A.; SKOKOVIC, D.; MATTAR, C.; CRISTÓBAL, J. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, New York, v. 11, n. 10, p. 1840-1843. 2014.

MENGUE, V. P. et al. Índice TVDI para mapeamento das culturas de arroz irrigado e soja em áreas agrícolas de Pelotas e Camaquã/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: MCT/INPE, 2015. p. 1899-1906.

MOREIRA, A. et al. Avaliação de fisionomias campestres no Rio Grande do Sul com uso do índice de umidade TVDI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: MCT/INPE, 2015. p. 2782-2789.

NASA. Jet Propulsion Laboratory. The Shuttle Radar Topography Mission collected topographic data over nearly 80 percent of Earth's land surfaces, creating the first-ever near-global data set of land elevations. Califórnia: California Institute of Technology, 2000. <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>> Acesso em 13/07/2014.

NOBRE, A. D. et al. Height Above the nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 404, n 1-2, p. 13-29, 2011.

PRICE, J. C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 28, n. 5, p. 940-948, 1990.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

SANTOS, J. S. et al. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 54-63, 2014.

SANDHOLT, I.; RASMUSEN, K.; ANDERSEN, J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 79, p. 213-224, 2002.

SCHIRMBECK, L. W.; FONTANA, D. C.; SCHIRMBECK, J. Produtos MODIS para identificação de áreas em estresse hídrico na cultura da soja. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: MCT/INPE, 2015. p. 2830- 2836. 2015.

SCHIRMBECK, J.; RIVAS, R. Estimación de la radiación neta a nível del suelo a partir de datos captados por el sensor ETM+. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 13, 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6159-6165. 2007.

SOBRINO, J.; JIMÉNEZ MUÑOZ. J. C.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval

from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 90, n. 4, p. 434-440, 2002.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY – USGS. ESPA - Center Science Processing Architecture. Base de dados, Estados Unidos da América, 2017. Disponível em: <<https://espa.cr.usgs.gov>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

YU, X.; GUO, X.; WU, Z. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS— Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 10, p. 9829-9852, 2014.