



Variação espaço-temporal da condição da vegetação no interior paulista

Roberto FILGUEIRAS^{1*}, Donizete Aparecido Pastori NICOLETE², Antonio Ribeiro CUNHA²,
Célia Regina Lopes ZIMBACK²

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

² Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.

*E-mail: betofilgueiras@gmail.com

Recebido em agosto/2018; Aceito em março/2019.

RESUMO: A compreensão da dinâmica das condições da vegetação ao longo do tempo tem sido ampliada devido ao avanço das técnicas de sensoriamento remoto. O presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal da vegetação estratificada por diferentes usos e cobertura da terra, em área localizada no município de Botucatu-SP. Para isso, foram utilizadas 21 imagens da plataforma Landsat-5/TM, totalizando uma série temporal de 25 anos (1985 a 2010). As imagens foram submetidas aos processos de conversão dos números digitais para valores físicos, correção atmosférica e correção topográfica. As imagens corrigidas foram utilizadas para estimar os valores do VCI (Vegetation Condition Index). Os resultados da estimativa do VCI foram promissores para subsidiar a análise espaço-temporal da condição da vegetação em nível local, sendo sensível às variações locais de precipitação pluviométrica, amplificando a variabilidade intra-classe de uso da terra para o vigor da vegetação. O comportamento característico da floresta semidecidual (classe de uso da terra = Floresta) presente na propriedade foi perceptível nessa análise, fato que faz com se recomende essa metodologia em pesquisas futuras relacionadas a análise da condição da vegetação.

Palavras-chave: monitoramento ambiental; sensoriamento remoto; séries temporais.

Spatial and temporal changes in vegetation conditions in Paulist interior

ABSTRACT: There is an increasing demand to better understand the dynamics of the vegetation conditions over time as a result of the improvement of remote sensing techniques. This study aimed to analyse the spatio-temporal behavior of vegetation, stratified by land use in area located in Botucatu-SP. We used 21 Landsat-5 TM images in 25 years (1985 – 2010) of analysis. We applied conversion of the digital numbers to physical values, atmospheric and topographic corrections, which allowed to analyze the vegetation changes by using the VCI (Vegetation Condition Index) calculation. The VCI showed a good performance in analyzing the spatiotemporal vegetation condition at a local level, it is sensitive to local variations of rainfall, it enhances the variability of the intra-class land use for the vigor of vegetation. By applying the VCI we were able to observe the vegetation pattern of the semideciduous forest (land use class = Forest) present in the area, fact that makes this methodology recommended in future researches related to the analysis of the vegetation condition.

Keywords: environmental monitoring; remote sensing; time series.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto têm-se mostrado eficientes em diversas áreas do conhecimento, por exemplo, em atividades relacionadas ao planejamento agrícola e florestal, tratando de questões relacionadas à vegetação, como o monitoramento da condição dessas ao longo dos anos (LI et al., 2013; ANDRADE et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014; JIANG et al., 2016).

A disponibilidade de imagens da superfície terrestre obtidas por meio de plataformas orbitais, disponíveis em banco de dados distribuídos gratuitamente, apresentam-se como ferramentas úteis no acompanhamento e monitoramento da paisagem. O Landsat-5 é um exemplo clássico de um satélite que fornece um banco de dados histórico de imagens. Esse orbitou o globo terrestre durante 29 anos, tendo sua missão terminada no dia 5 de junho de 2013, quando a equipe responsável realizou o último comando ao satélite, desligando o mesmo (USGS, 2013).

De acordo com Jensen (2009), parâmetros biofísicos vêm sendo extraídos da vegetação por meio de sensoriamento

remoto desde 1960. Esses têm como intuito extrair informações a respeito da vegetação, utilizando informações de reflectâncias das bandas espectrais das imagens de satélites.

Estudos temporais em imagens orbitais têm estimado parâmetros biofísicos, com intuito de auxiliar a compreensão das ocorrências de mudanças climáticas (Matos et al., 2015). A estimativa desses e suas análises temporais auxiliam no entendimento do comportamento do uso da terra ao longo dos anos e, conseqüentemente, se uma determinada área apresenta preservação ambiental, ou se a mesma sofre processos de degradação ao longo do tempo. O estudo desses parâmetros biofísicos é recomendado nos monitoramentos de mudanças de superfícies da terra (ROBINOVE et al., 1981).

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) desenvolvido por Rouse et al. (1974) é um exemplo desses índices, o qual leva em consideração a diferença espectral do comprimento de onda do vermelho e do infravermelho próximo, sendo com isso, sensível às mudanças durante o desenvolvimento vegetativo ao longo do ciclo das plantas. Esse tem sido constantemente utilizado para caracterização de

parâmetros quantitativos e qualitativos da vegetação, como por exemplo, o uso desse na estimativa de produtividade, na discriminação de culturas anuais, na quantificação de radiação solar fotossinteticamente absorvida, no vigor vegetativo, área foliar, entre outros (BASTIAANSEN et al., 2000; SANTOS et al., 2015; JIANG et al., 2016).

O NDVI vem sendo utilizado para o monitoramento de riscos ambientais, como exemplo, a ocorrência de secas, e para isso, esse índice foi adaptado para descrever a variabilidade temporal das condições da vegetação (RHEE et al., 2010; DU et al., 2013). O VCI (*Vegetation Condition Index*) é um exemplo de índice derivado do NDVI que auxilia na identificação de estresse hídrico (JIAO et al., 2016). Dessa forma, o objetivo do estudo foi analisar o comportamento espaço-temporal da vegetação, estratificada com base no uso e cobertura da terra e na condição da vegetação da Fazenda Experimental Edgárdia (FEE).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O presente estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Edgárdia (FEE) pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP). A FEE está localizada no município de Botucatu-SP (Figura 1), sendo essa delimitada pelos pares de coordenadas geográficas sexagesimais: 48°25'36.25"W, 22°48'2.80"S e 48°22'37.46"W,

22°49'52.36"S, DATUM WGS - 84. A área possui fragmentos florestais de importância local e regional, uma vez que estes estão inseridos na Área de Proteção Ambiental (APA) Botucatu, caracterizando-se como um refúgio da fauna silvestre.

De acordo com Cunha; Martins (2009), o clima da região é Cfa (temperado quente (mesotérmico) úmido, com uma temperatura média anual de 20,3 °C e uma precipitação média anual de 1.428 mm. A temperatura média anual do mês mais frio (Julho) igual a 17,1 °C, e do mês mais quente (Fevereiro), 23,1 °C. Os meses com maiores e menores taxas de precipitação são janeiro e agosto, respectivamente.

A FEE apresenta grande amplitude nos valores referentes à altitude geoidal. São encontrados valores de aproximadamente 475 m na porção leste da área, local caracterizado por relevo plano, com declividade variando de 0 a 3 % (Carvalho et al., 1991). No sentido oeste, em direção à Cuesta, a declividade torna-se gradativamente mais elevada. O relevo plano da várzea, a face leste, modifica-se para suave ondulado e ondulado, variando os valores de altitudes entre 475 a 650 metros, apresentando classes de declive de 3 a 20%.

Já na Cuesta (oeste da área de estudo), o relevo torna-se forte ondulado, caracterizados por declividades de 20 a 45%, ocorrendo, eventualmente, relevos com declives superiores a 45%, quando há ocorrência de afloramento de rochas (CARVALHO et al., 1991).

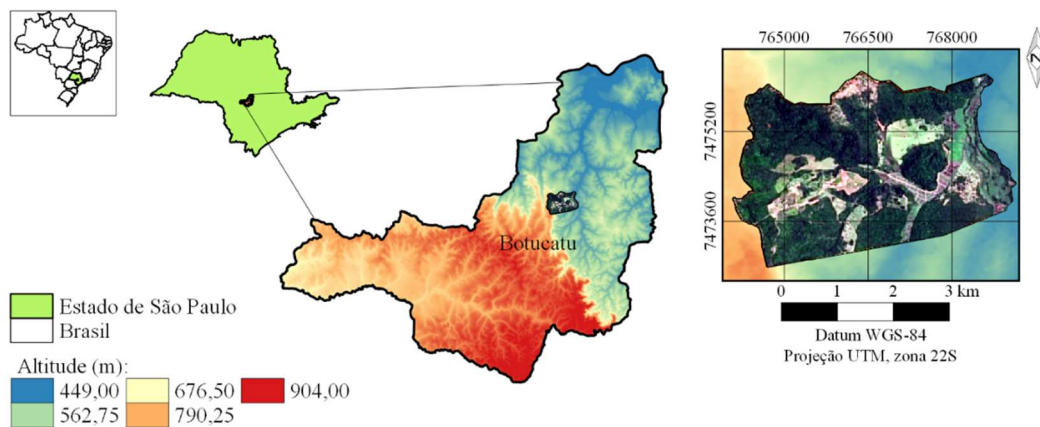


Figura 1. Localização da Fazenda Experimental Edgárdia, em relação ao município de Botucatu, São Paulo, Brasil.
Figure 1. Spatial location of the Edgárdia Experimental Farm within the municipality of Botucatu, São Paulo, Brazil.

2.2. Imagens orbitais

Foram utilizadas 21 imagens da plataforma orbital LANDSAT-5, sensor TM (Thematic Mapper), com localização correspondente a órbita/ponto 220/076 (Tabela 1). As imagens foram adquiridas no banco de dados da USGS (United States Geological Survey), as quais se encontravam ortorretificadas ao nível de processamento Standart Terrain correction Level 1T ou Level 1G (USGS, 2014). As bandas utilizadas no estudo correspondem aos comprimentos de onda 0,63-0,69 µm (banda 3 - vermelho) e 0,76-0,90 µm (banda 4 - infravermelho).

Para o cálculo do NDVI foi realizada a conversão dos números digitais (ND) de cada pixel da imagem em valores físicos (Ponzoni et al., 2012). Inicialmente, foi realizada a conversão dos ND em radiância espectral monocromática. Este parâmetro foi obtido segundo a Equação 1.

Tabela 1. Características das imagens Landsat utilizadas neste estudo.
Table 1. Characteristics of the Landsat imagery used in the study.

Data	DOY	Nuvens	Data	DOY	Nuvens
11/09/1985	254	1%	06/08/2001	218	1%
14/09/1986	257	0%	12/08/2003	224	7%
27/09/1988	271	0%	14/08/2004	227	0%
12/09/1991	255	0%	17/08/2005	229	0%
30/09/1992	274	13%	04/08/2006	216	29%
20/09/1994	263	0%	23/08/2007	235	2%
12/09/1997	255	4%	08/09/2007	251	0%
28/09/1997	271	4%	25/08/2008	238	0%
01/08/1999	213	24%	10/09/2008	253	1%
02/09/1999	245	0%	16/09/2010	259	5%
19/08/2000	232	15%	-	-	-

$$L_{\lambda i} = L_{\text{mini}} + \frac{(L_{\text{maxi}} - L_{\text{mini}})}{(Q_{\text{maxi}} - Q_{\text{mini}})} \times ND \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral monocromática em $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$; L_{maxi} e L_{mini} são respectivamente, as radiâncias máxima e mínima; Q_{maxi} e Q_{mini} são respectivamente, as radiâncias máxima e mínima escalonada em ND; “i” refere-se ao número da banda utilizada. Todos esses parâmetros estão nos arquivos metadados de cada imagem (CHANDER et al. 2009).

Após o cálculo da radiância monocromática, efetuou-se o cálculo da reflectância no topo da atmosfera (Equação 2). Na sequência, a reflectância no topo da atmosfera foi convertida para reflectância na superfície neste caso, da superfície utilizando o método *Dark Object Subtraction-DOS* (Chavez Jr., 1988), para as bandas 3 e 4, que visa a reduçã das interferências da atmosfera nas imagens Landsat.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos \theta_s \cdot dr} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: $\rho_{\lambda i}$ refere-se a reflectância monocromática da superfície; $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar média da atmosfera para cada banda em $W\ m^{-2}\ \mu m^{-1}$; θ_s remete ao ângulo zenital solar no momento da passagem do satélite; e dr o quadrado da razão da distância média terra sol.

Após a conversão radiométrica foi necessário a realização da correção da topografia da FEE, devido à complexidade do relevo da área de estudo. Para isso utilizou-se um modelo digital de elevação, elaborado a partir da carta planialtimétrica do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo), na escala de 1:10.000. Foi utilizado a metodologia de correção C, a qual é uma metodologia semi empírica proposta por Teillet et al. (1982).

Posterior ao pré-processamento das imagens, realizou-se o cálculo do NDVI conforme a Equação 3.

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que: NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada; ρ_{iv} é a reflectância da banda do infravermelho próximo; e ρ_v a reflectância na banda do vermelho. Esse índice possui uma amplitude de valores entre -1,0 e 1,0. De acordo com Ponzoni et al. (2012), a vegetação verde possui valores entre 0,0 e 1,0, enquanto que, de modo geral, água e nuvens apresentam valores menores que zero.

A partir do NDVI calculou-se o Vegetation Condition Index (VCI), o qual possibilita a quantificação do impacto do clima e a detecção de alterações espaço-temporais na vegetação. Dessa forma, o VCI permite observar temporalmente o aumento ou diminuição do vigor vegetativo, possibilitando a definição de limiares ecológicos (KOGAN, 1995; SOUZA JR.; LACRUZ, 2015). Esse índice foi obtido utilizando a Equação 4.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\text{min}}}{NDVI_{\text{max}} - NDVI_{\text{min}}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Para obtenção do $NDVI_{\text{min}}$ e $NDVI_{\text{max}}$ na série temporal, foram utilizadas as expressões lógicas, mínimo e máximo, que estão apresentadas nas Equações 5 e 6, onde gerou-se duas imagens, com os valores mínimos e máximos para cada pixel da FEE, considerando as 21 datas.

$$NDVI_{\text{min}} = \min (NDVI_1, NDVI_2, \dots, NDVI_n) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$NDVI_{\text{max}} = \max (NDVI_1, NDVI_2, \dots, NDVI_n) \quad (\text{Equação 6})$$

Para a análise dos VCI foi necessário a classificação em tela, feita por um foto-interprete experiente e com conhecimento da área de estudo para delimitar os usos da terra presentes na FEE. A classificação foi realizada de modo manual, fazendo o reconhecimento em campo e na imagem, para se prosseguir com a criação dos polígonos de uso da terra no computador. Essa classificação foi realizada devido, principalmente, o conhecimento da verdade terrestre do local.

Para avaliar a sensibilidade dos usos da terra com a precipitação pluviométrica, adquiriu-se dados de precipitação junto a estação meteorológica da FCA/UNESP.

Todos os processamentos de dados presentes na metodologia, assim como as finalizações dos mapas, foram executados nos programas computacionais QGIS 2.8 (QGIS Development Team, 2015) e SPRING 5.1.8 - Geographic Information Processing System (CAMARA et al., 1996).

3. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do uso e cobertura na área da FEE, com a estratificação em oito classes, sendo predominantes as classes com cobertura florestal (Floresta e Cerradão).

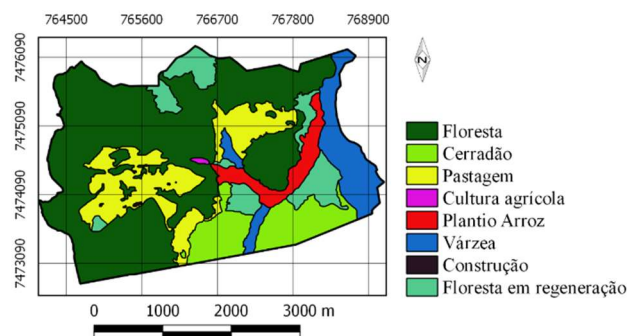


Figura 2. Uso da terra para a Fazenda Experimental Edgárdia.
Figure 2. Land use for Edgárdia Experimental Farm.

A partir da classificação dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra da área de estudo, foi extraído a área de cada classe (Tabela 2). Essas classes foram utilizadas para interpretar os VCI ao longo da série temporal da FEE, possibilitando a compressão da condição da vegetação ao longo da série de imagens analisadas.

Tabela 2. Quantificação da área para as classes de uso da terra da Fazenda Experimental Edgárdia.

Table 2. Quantification of the area for the land use classes of the Edgárdia Experimental Farm.

Uso da terra	Área (ha)
Floresta	633,11
Cerradão	129,40
Pastagem	182,17
Regeneração	111,03
Várzea	106,10
Arroz	52,59
Cultura	1,70

Na Figura 3 estão apresentadas as distribuições espaciais correspondentes aos valores de VCI para a área em estudo. A análise do VCI é realizada pixel a pixel, e dessa forma, cada pixel representa a relação dele na data analisada, com o

máximo e mínimo valor encontrado para esse pixel na série temporal. Assim, não se deve comparar quantitativamente pixels correspondentes a outra área. A análise pixel a pixel ao

longo da série temporal, juntamente com o mapeamento do uso da terra, faz com que seja possível inferir sobre a condição da vegetação no decorrer do tempo.

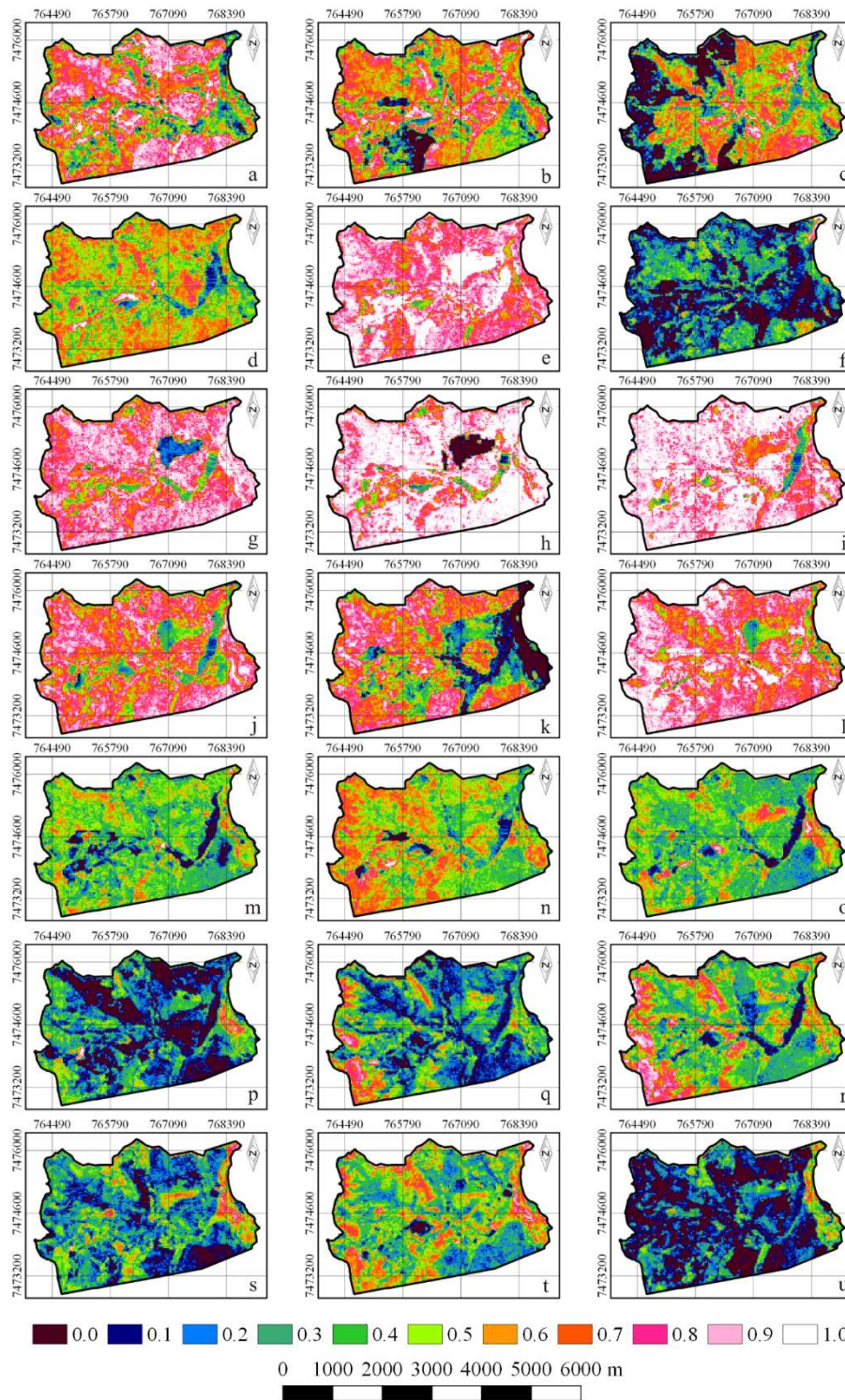


Figura 3. Estimativas do VCI da Fazenda Experimental Edgárdia em: 11/09/1985 (a); 14/09/1986 (b); 27/09/1988 (c); 12/09/1991 (d); 30/09/1992 (e); 20/09/1994 (f); 12/09/1997 (g); 28/09/1997 (h) 01/08/1999 (i); 02/09/1999; (j); 19/08/2000 (k); 06/08/2001 (l); 12/08/2003 (m); 14/08/2004 (n); 17/08/2005 (o); 04/08/2006 (p); 23/08/2007 (q); 08/09/2007 (r); 25/08/2008 (s); 10/09/2008 (t); 16/09/2010 (u).

Figure 3. Estimates of VCI of the Experimental Farm Edgárdia on: 11/09/1985 (a); 14/09/1986 (b); 27/09/1988 (c); 12/09/1991 (d); 30/09/1992 (e); 20/09/1994 (f); 12/09/1997 (g); 28/09/1997 (h) 01/08/1999 (i); 02/09/1999; (j); 19/08/2000 (k); 06/08/2001 (l); 12/08/2003 (m); 14/08/2004 (n); 17/08/2005 (o); 04/08/2006 (p); 23/08/2007 (q); 08/09/2007 (r); 25/08/2008 (s); 10/09/2008 (t); 16/09/2010 (u).

Observou-se na Figura 3 que houve uma tendência a valores mais elevados de VCI nas imagens dos meses de setembro, com exceção das datas de 27/09/1988, 20/09/1994 e 16/09/2010, as quais apresentaram as menores precipitações

acumuladas referentes aos 180 dias anteriores à aquisição das imagens (Figura 4). No caso da Figura 3c, o baixo valor de precipitação pode ter ocasionado um atraso no reenfolhamento da floresta, visto que, a mesma é classificada como Floresta

Estacional Semidecidual. Nas Figuras 3f e 3u, além de apresentarem as menores precipitações acumuladas do período, ocorreu um acúmulo de aproximadamente 50% da precipitação do 180º dia ao 150º dia anterior às datas das imagens, o que pode ter acarretado estresse hídrico na vegetação.

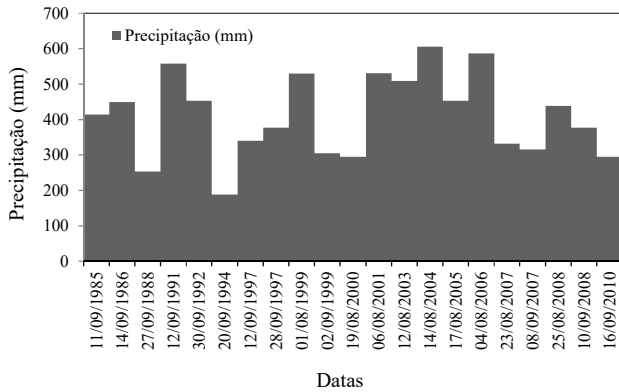


Figura 4. Chuva acumulada dos 180 dias anteriores às datas de aquisição das imagens utilizadas na série temporal.

Figure 4. Accumulated rainfall of 180 days prior to the acquisition dates of the images used in the time series.

Na Figura 5 está apresentada a estatística descritiva para uso da terra dos VCI ao longo da série temporal analisada, por meio de gráficos boxplot. Podem ser observados os valores médios dos VCI nas cruzetas de coloração avermelhada. Os valores mínimos e máximos são destacados por marcadores azuis, sendo que na porção inferior estão os marcadores dos mínimos, e na porção superior os marcadores correspondentes aos valores máximos. As barras centrais, inseridas no interior das caixas, correspondem à mediana das observações. Os limites inferior e superior das caixas referem-se respectivamente, ao primeiro e terceiro quartil.

A Figura 5a confirma a variabilidade da condição florestal observada em 27/09/1988 (Figura 3c), uma vez que a análise quantitativa é evidenciada pela amplitude do 1º quartil com o 3º quartil, visto que, esses valores oscilaram para a Floresta, de 0,062 a 0,590, respectivamente, para o 1º e 3º quartil. Valores semelhantes ao da floresta foram observados para as áreas com regeneração para a mesma data.

4. DISCUSSÃO

De acordo com Carvalho et al. (1991), há ocorrência de formações vegetais nativas na FEE, representadas pelas fitofisionomias de floresta, cerrado e campo. Jorge; Sartori (2002) estratificaram a ocupação florestal da FEE em duas classes: Floresta Estacional Semidecidual, que seria a classe floresta, no atual estudo, e cerrado. Essas duas classes apresentaram aumento de área durante a análise temporal (1978 a 1997) realizada por esses autores. Os resultados do presente estudo indicam um aumento na cobertura florestal da FEE, quando comparado aos resultados observados por Jorge; Sartori (2002), o que indica que está ocorrendo a preservação dessas áreas.

Observou-se que nos anos de 1997 e 1998 ocorreram, de acordo com o Centro de Previsão de Tempos e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE (2015), um evento El Niño classificado como forte. Esse fenômeno faz com que ocorra um aquecimento das águas do Oceano Pacífico na região tropical, acarretando em

mudanças no comportamento dos ventos e do regime pluviométrico (INPE, 2015). As imagens correspondentes a esse período, apresentaram, em geral, altos valores de VCI, mesmo com as taxas de precipitação abaixo da média, em relação à série temporal local. Na Figura 3e, os valores estimados do VCI indicaram um alto vigor vegetativo para as classes arbóreas, mesmo com uma baixa precipitação. Isto pode estar relacionado com a distribuição das chuvas ao longo dos 180 dias anteriores, visto que, entre o 150º dia ao 180º dia houve apenas 6,8% do total de 377 mm de precipitação.

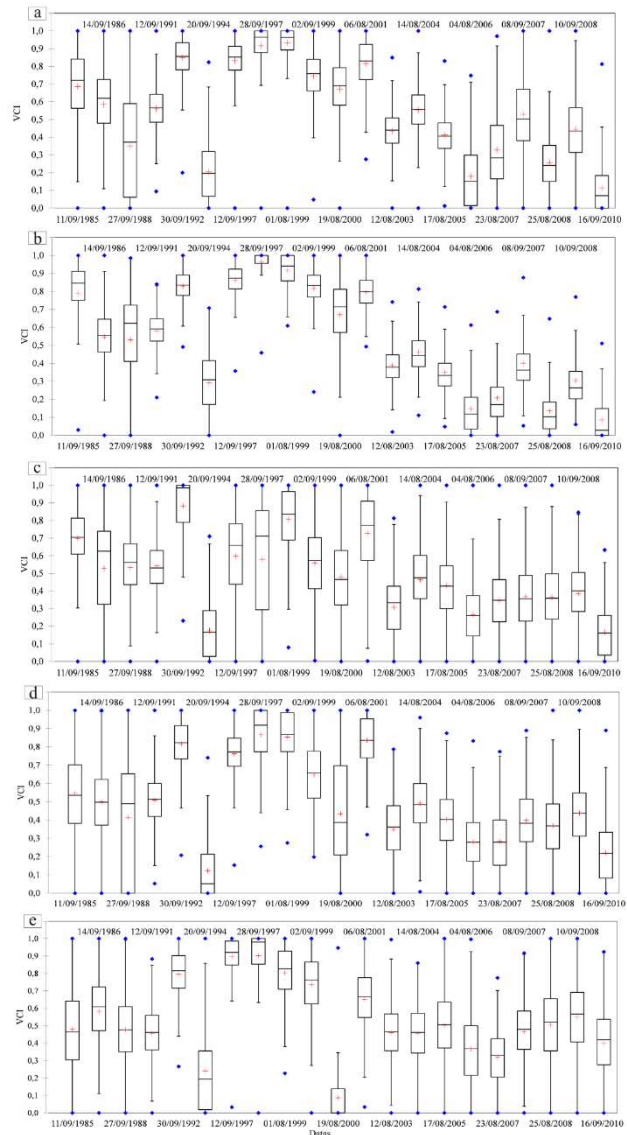


Figura 5. Boxplot dos VCI para as classes: floresta (a), cerrado (b), pastagem (c), regeneração (d) e várzea (e).

Figure 5. Box plot of VCI for classes: forest (a), cerrado (b), grassland (c) regeneration (d) and wetland (e).

Conforme o apresentado na Figura 4, a imagem adquirida em 20/09/1994 apresentou a menor precipitação acumulada (187,80 mm), para os 180 dias anteriores às datas das imagens. Esse fato pode ter ocasionado queda do vigor da vegetação, que foi observado em todas as classes de uso da terra analisadas nesse estudo. Para essa data, o VCI médio encontrado para a floresta, cerrado, pastagem, regeneração e várzea (Figura 3), foi de 0,204; 0,291; 0,175; 0,123 e 0,241, respectivamente.

Em geral, a queda da precipitação acumulada ocasionou um rebaixamento dos valores de VCI, fato observado em todas as classes de vegetação da FEE. O Cerradão foi a classe que apresentou a menor relação com a precipitação, o que confirma a maior rusticidade dessa classe de cobertura da terra comparada às demais.

Kogan (1995) concluiu em seu trabalho que o VCI é eficiente tanto na identificação de seca prolongada e bem definidas, quanto em secas amenas e localizadas, sendo essa última condizente com o observado no atual estudo.

5. CONCLUSÕES

A análise espaço-temporal da condição da vegetação em nível local (FEE) foi realizada com êxito, sendo constatada certa sensibilidade às variações de precipitação pluviométrica, amplificando a variabilidade intra-classe de uso da terra para o vigor da vegetação. Os valores médios apresentaram-se inferiores em datas de baixos índices pluviométricos.

Tanto as análises qualitativas quanto quantitativas da metodologia utilizada permitiram a visualização do padrão semidecidual característico da cobertura florestal da FEE, o que faz com se recomende essa metodologia em pesquisas futuras relacionadas a análise da condição da vegetação.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; MENEZES, S. J. M. C. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar utilizando o Sebal e imagens Landsat. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. e, p. 433-442, 2014.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 46, n. 2, p. 137-155, 2000. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00080-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00080-9)
- CARVALHO, W. A.; PANOSO, L. A.; MORAES, M. H. **Levantamento semidetalhado dos solos da Fazenda Experimental Edgardia – Município de Botucatu**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP; 1991. 467 p.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- CHAVEZ JR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing Of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- CPTEC_CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPOS E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INPE_INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **El niño e la niña**. 2015. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml. Acesso em: 02 de fev. de 2016
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DU, L.; TIAN, Q.; YU, T.; MENG, Q.; JANCOSO, T.; UDVARDY, P.; HUANG, Y. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 23, p. 245-253, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.010>
- INPE INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é El niño e La niña**. 2015. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml. Acesso em: 02 de fev. de 2016.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- JIANG, R.; JIANGCANG, X.; HAILONG, H.; CHUN-CHAO, K.; JIWEI, Z.; MINGXIANG, Y. Spatiotemporal variability and predictability of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Alberta, Canada. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 60, n. 9, p. 1389-1403, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00484-015-1132-5>
- JIAO, W.; ZHANG, L.; CHANG, Q.; FU, D.; CEN, Y.; TONG, Q. Evaluating an enhanced Vegetation Condition Index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. **Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 224, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/rs8030224>
- JORGE, L. A. B.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu-SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 585-592, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500009>
- KOGAN, F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advances in Space Research**, Oxford, v. 15, n. 11, p. 91-100, 1995. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://dx.doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
- LI, Z.; LIU, X.; MA, T.; KEJIA, D.; ZHOU, Q.; YAO, B.; NIU, T. Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 270, p. 64-75, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.09.004>
- MATOS, R. C. M.; CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G.; HATTERMANN, F. F.; KOCH, H.; KLEINSCHMIT, B. Análise multitemporal do albedo, ndvi e temperatura no entorno do reservatório de Itaparica – Pe: Anos De 1985 E 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 67, n. 3, p. 545-554, 2015.
- QGIS Development Team (2015) QGIS. **Versão 2.8.3. 2015**. Disponível em: <http://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 23 de junho de 2015.
- OLIVEIRA, T. H.; DANTAS, J. G.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; BOTLER, M. Análise da Variação Espaço-Temporal das Áreas Verdes e da Qualidade Ambiental em Áreas Urbanas, Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 6, p. 1196-1214, 2014.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 176 p.
- RHEE, J.; IM, J.; CARBONE, G. J. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 114, n. 12, p. 2875-2887, 2000. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.005>

- ROBINOVE, C. J.; CHAVEZ JR, P. S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 11, p. 133-156, 1981. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(81\)90014-6](https://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(81)90014-6)
- ROUSE, J. W. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974. Type III.
- SANTOS, J. E. O.; NICOLETE, D. A. P.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L. Imagens do Landsat-8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. **Irriga**, p. 30-36, 2015.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO JUNIOR, F. Spring: integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- SOUSA JR, M. A.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto para seca/estiagem. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para Desastres**. São Paulo: Oficina de textos; 2015. 149-174.
- TEILLET, P. M.; GUINDON, B.; GOODEBOUGH, D. G. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 2, p. 84-106, 1982.
- United State Geological Survey – USGS [homepage na internet]. **Decommission 2013** [acesso em 02 fev 2016]. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/L5_Decommission.php
- United State Geological Survey – USGS [homepage na internet]. **Landsat processing details 2014** [acesso em 02 fev 2016]. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php