



Análise temporal e espacial da vegetação no entorno do Reservatório de Itupararanga, São Paulo, utilizando parâmetros de sensoriamento remoto

Elfany Reis do Nascimento Lopes¹, José Carlos de Souza², Roberto Wagner Lourenço³, José Luiz Albuquerque Filho⁴

¹Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:jose.souza@posgrad.sorocaba.unesp.br

²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:elfany@posgrad.sorocaba.unesp.br

³Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:robertow@sorocaba.unesp.br

⁴Instituto de Pesquisa Tecnológica do estado de São Paulo.

Email:robertow@sorocaba.unesp.br

Resumo

Este estudo objetivou caracterizar, quantificar e avaliar temporal e espacialmente a vegetação do entorno do Reservatório de Itupararanga, São Paulo, utilizando os índices NDVI e PRI. Os índices foram gerados no *software* ArcGis 10.3, por meio de imagens gratuitas do sensor Oli/Landsat 8, dos meses de janeiro e agosto de 2015. Os resultados demonstraram variações expressivas entre o NDVI e o PRI para o período analisado. Como esperado, em função da maior ocorrência de chuvas na região indicou valores mais altos de NDVI em janeiro, significando maior vigor da vegetação. O PRI apresentou valores mais altos para o mês de agosto, significando que em agosto a produção fotossintética utiliza com maior expressividade a luminosidade. Observou-se também, nos dois períodos, uma correlação positiva entre os índices, sendo as áreas de silvicultura com maior taxa territorial no entorno e responsáveis pelos melhores desempenhos dos índices investigados. As técnicas de sensoriamento remoto são instrumentos eficazes no monitoramento do comportamento espectral da vegetação, subsidiando os estudos nas ciências ambientais.

Palavras-chave: Índices de vegetação. Produção fotossintética. Vigor da vegetação. Sensoriamento remoto.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

Temporal and spatial analysis of the vegetation in the surroundings of the reservoir of Itupararanga, São Paulo, using parameters of remote sensing

Abstract

This study aimed to assess, characterize and quantify temporal and spatially the vegetation surrounding the Reservoir of Itupararanga, Sao Paulo, using the NDVI index and PRI. The indexes were generated in the ArcGis software 10.3 through gratuitous pictures of the sensor Landsat 8 /Oli to months January August 2015. The results showed significant variations between the NDVI and the PRI for the analysis period. As expected due to the increased occurrence of rains in the region indicated higher NDVI values in January, greater vigour of



vegetation. The PRI presented higher values for the month of August, which means that the photosynthetic production uses with greater expressiveness the luminosity. We also observed in two periods a positive correlation between the indexes, being the areas of forestry with greater territorial rate around and responsible for the best performances of the investigated indices. Remote sensing techniques are effective tools in the vegetation's spectral behavior monitoring subsidizing and the studies in environmental sciences.

Keywords: vegetation indexes. Photosynthetic production. Effect of vegetation. Remote sensing.

Theme Area: Environmental Technologies

1. Introdução

O crescimento das áreas produtivas e urbanizadas, a oscilação da temperatura, períodos hídricos conturbados e a exploração exacerbada dos recursos tem evidenciado a redução da cobertura vegetal e do seu potencial, ao mesmo tempo em que se nota a necessidade de conservá-las (CHOAT et al., 2012; LOURENÇO et al., 2014).

Em áreas com relevante interesse hídrico, o monitoramento das atividades e da cobertura vegetal deve ser realizado periodicamente, utilizando tecnologias acessíveis e gratuitas que permitam indicar o estado de conservação destas áreas. No tocante a importância da cobertura vegetal para a conservação de áreas hídricas, reside a capacidade de redistribuição da chuva, recarga dos aquíferos, formação de novas massas atmosféricas úmidas através das perdas por interceptação pelo dossel florestal, influência sobre a infiltração e armazenamento de água no solo e redução da erosão (ÁVILA et al., 2014).

De forma associada, encontram-se atualmente sucessivas técnicas para monitoramento ambiental, destacando-se o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permite a construção de um ambiente de gerenciamento de arquivos e do Sensoriamento Remoto (SR), que possibilita o processamento de grandes quantidades de dados e a correlação entre bandas espectrais em diferentes comprimentos de ondas. Na perspectiva do uso do SR, os índices vegetais são empregados com base na combinação de bandas e das medidas radiométricas que monitoram a abundância relativa da vegetação, a partir de suas especificidades fotossintéticas (AHAMED et al., 2011; JAMALI et al., 2014). Diversos índices espaciais podem ser obtidos por imagens de satélites gratuitas e fornecem informações sobre a caracterização da terra, da cobertura vegetal, dentre eles, destacam-se o NDVI e o PRI (GILLESPIE, 2005).

O Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) investiga a distribuição e quantidade de vegetação presente no pixel, monitorando as variações de crescimento, mudanças fisiológicas e período de senescência, (ROUSE *et al.*, 1973; MEI et al., 2015). Já o Índice de Reflectância Fotoquímica - PRI (Photochemical Reflectance Index) relaciona-se com a eficiência do uso da luz no processo fotossintético (MARTINS & BAPTISTA, 2013).

Entendendo que o uso do sensoriamento remoto, através dos índices de vegetação, representam tecnologias alternativas para a compreensão do estado ambiental de áreas com relevante interesse hídrico, o objetivo do estudo consistiu em caracterizar, quantificar e avaliar temporal e espacialmente a vegetação do entorno do Reservatório de Ituparanga, São Paulo, utilizando os índices NDVI e PRI.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

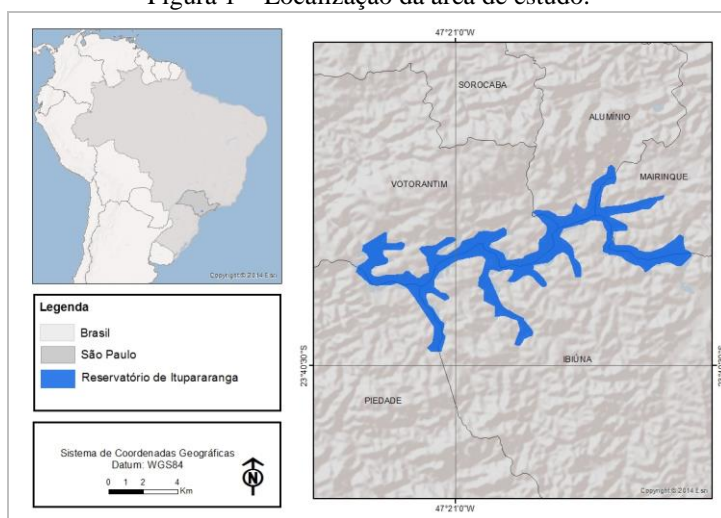
O Reservatório de Ituparanga foi construído em 1912 e atualmente compõe a bacia hidrográfica do Rio Sorocaba – Médio Tietê. Sua área abrange os municípios de Votorantim, Mairinque, Ibiúna, Alumínio e Piedade (Figura 1). Em 1998, foi criada a Lei



10.100 que dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga, visando garantir a proteção dos recursos hídricos locais que abastecem o respectivo reservatório (SÃO PAULO, 1998; PEDRAZZI et al., 2014).

O reservatório de Itupararanga possui grande importância para o abastecimento hídrico regional, sendo considerado um dos maiores mananciais de água potável de boa qualidade da região, responsável pelo abastecimento de aproximadamente um milhão de habitantes (SÃO PAULO, 1998; ENNES, 2008; CONCEIÇÃO et al., 2011). Atualmente sua área possui uma densa ocupação de suas margens e fortes mudanças na cobertura e no uso do solo, com alta ocupação agrícola que refletem diretamente na qualidade hídrica local. Sua área está inserida nos domínios do bioma Mata Atlântica, compondo áreas de floresta ombrófila densa e maiores áreas naturais ao norte do reservatório (ENNES, 2008; PEDRAZZI et al., 2014).

Figura 1 – Localização da área de estudo.



2. 2 Métodos

Os índices foram gerados, a partir da aquisição de imagens multiespectrais do sensor acoplado ao satélite Landsat 8 (OLI), obtidas gratuitamente através do Serviço Geológico do Estados Unidos. Foram selecionadas duas imagens com baixa nebulosidade e alta luminosidade, sendo a primeira datada em 10 de janeiro de 2015 e, a segunda, em 22 de agosto de 2015. Utilizou-se as bandas espectrais 2, 3, 4, 5 com resolução espacial de 30 metros, correspondentes ao Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo, respectivamente.

As imagens foram reprojetaadas para o Hemisfério Sul e através do módulo de processamento da calculadora raster do *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014), foram estimadas os índices por meio das equações propostas por Rouse *et al.* (1973), para o NDVI e, de Gamon *et al.* (1997) para o PRI, conforme abaixo:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$
$$\text{PRI} = (\text{BLUE} - \text{GREEN}) / (\text{GREEN} + \text{BLUE})$$

Onde:

NIR – banda na faixa do infravermelho próximo;

RED - banda na faixa do vermelho;

BLUE - banda na faixa do azul;

GREEN - banda na faixa do verde.



Ressalta-se que os valores obtidos no PRI são reescalados para valores positivos, gerando o índice sPRI (Índice de Reflectância Fotoquímica reescalado para valores positivos) a fim de normalizar a vegetação verde e corrigir a fração iluminada no uso da luz na fotossíntese, conforme equação abaixo:

$$\text{sPRI} = \text{PRI} + 1 / 2$$

3. Resultados e discussão

Os resultados do NDVI e PRI para o reservatório de Itupararanga podem ser observados na Figura 2 e 3, respectivamente. Os valores de NDVI foram distribuídos em sete classes capazes de detalhar a distribuição do vigor da vegetação no entorno do reservatório, sendo NDVI $\geq 0,5$ consideradas de vegetação densa, já os valores de NDVI $< 0,5 > 0,2$ como regiões agrícolas, silvicultura ou com pouca vegetação, NDVI $< 0,2 > 0$ como áreas edificadas e com ausência de vegetação e NDVI < 0 áreas com presença de água ou nuvens (MYNENI et al., 1995; DELBART et al., 2006). Já o PRI apresenta valores reescalados, que próximos de 1 representam o máximo de produção fotossintética da vegetação na área.

Em janeiro, o NDVI correspondeu aos valores entre -0,18 a 0,67 e valor médio de 0,30, enquanto em agosto, os intervalos foram concentrados entre -0,13 a 0,58 e valor médio de 0,19. Os valores de PRI corresponderam aos intervalos de 0,44 a 0,54 e média de 0,50 para janeiro, enquanto em agosto, os valores corresponderam a 0,56 a 0,68 e média de 0,51. Ao considerarmos os valores médios dos índices, podemos caracterizar o reservatório de Itupararanga com a presença de áreas urbanas, agrícolas, de silvicultura e de floresta ombrófila densa, além do território correspondente ao armazenamento de água do reservatório. Já os maiores valores de PRI, no período de agosto, podem ser atrelados a maior absorção de luz durante a produção fotossintética.

Os maiores percentuais encontrados para janeiro no NDVI podem ser justificados pelo período chuvoso para a região, e consequentemente maior taxa de biomassa vegetal. Esse fator é confirmado por Dagbegnon et al. (2015) que coloca a disponibilidade hídrica e climatológica como um fator determinante para a abundância da cobertura vegetal.

As áreas do reservatório que apresentam maior taxa de vigor vegetativo, durante o período de janeiro, são encontradas em áreas próximas a borda dos cursos d'água, especialmente à leste e oeste do reservatório. Essas áreas são representadas por atividades de silvicultura de Eucalipto e são periodicamente extraídas para comercialização. O reservatório apresenta maior parte do entorno em classes de intervalos entre 0,2 e 0,5, totalizando mais da metade da área de entorno do reservatório (52%), confirmando a densidade de áreas voltadas para a produção (Figura 4).

Para agosto, o NDVI apresentou queda nos seus valores de biomassa vegetativa, inclusive com áreas mínimas no intervalo $>0,5$ consideradas como vegetação densa. Os intervalos entre 0,1 – 0,3, indicam um aumento de áreas na produção agrícola ou a preparação destas para o cultivo ou ausência de vegetação, correspondendo a um aumento de 5% entre os períodos analisados. Verificou-se também, uma ascendência dos intervalos entre 0,3 a 0,5 durante o período de janeiro, indicando que áreas de silvicultura foram extraídas para comercialização e convergiram para a menor taxa de biomassa na área, sendo o aumento dessas áreas de 52% para 68% em agosto (Figura 4).

A avaliação espacial do NDVI para Itupararanga revelou que o período com maior taxa de chuva na região conferiu aumento da área de biomassa, concebendo a um período mais conservado no sentido de presença de vegetação e até mesmo de produção de água, já que, áreas densas de silvicultura respondem as maiores taxas de biomassa. Ao mesmo tempo, em período mais seco, quando comprovadamente a taxa de biomassa decaiu e com o predomínio da extração das áreas de silvicultura, a conservação local fica comprometida.



Figura 2 - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para janeiro e agosto.

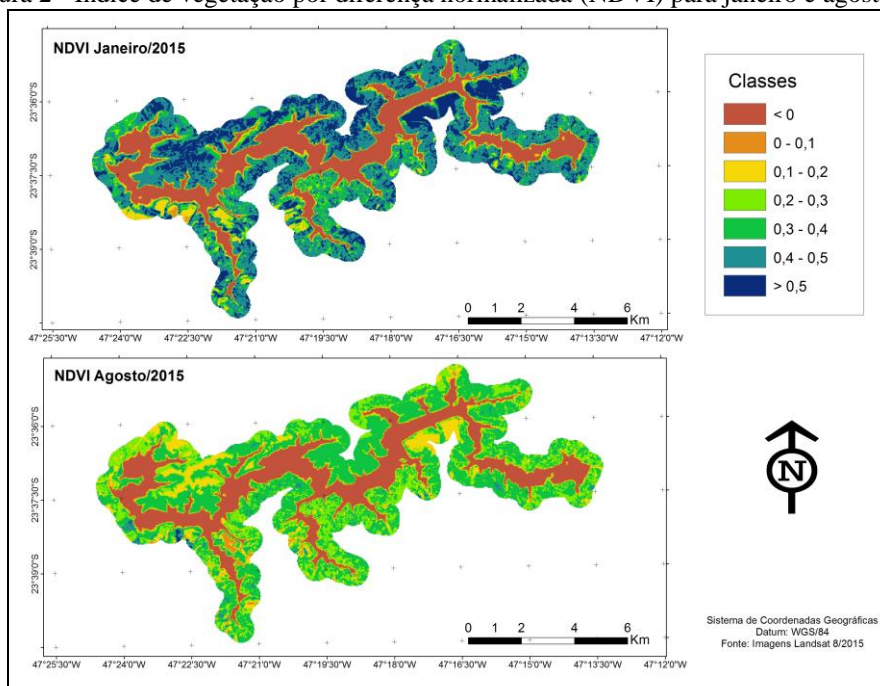


Figura 3 – Índice de reflectância fotoquímica (PRI) para os meses de janeiro e agosto.

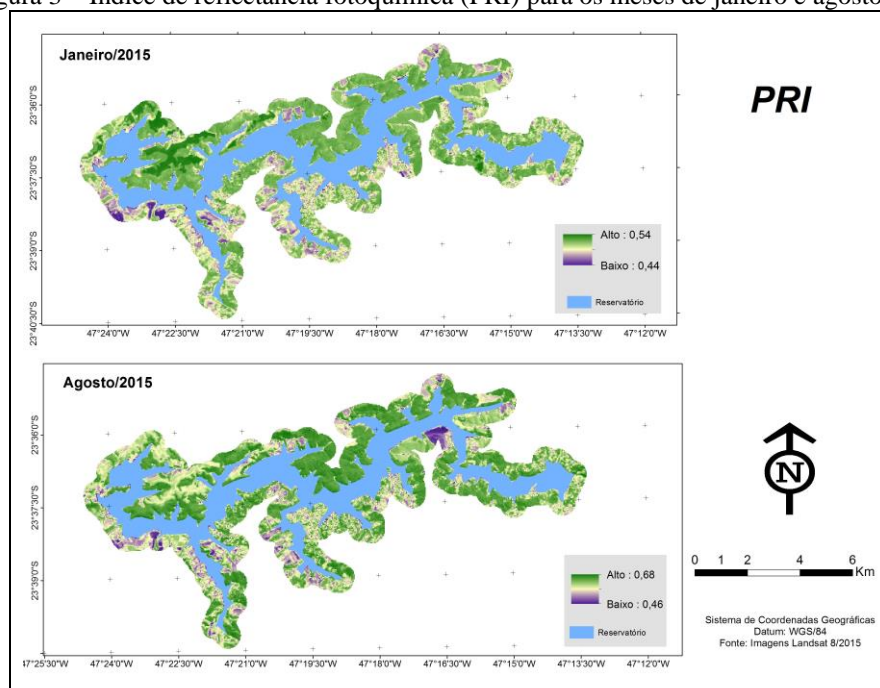
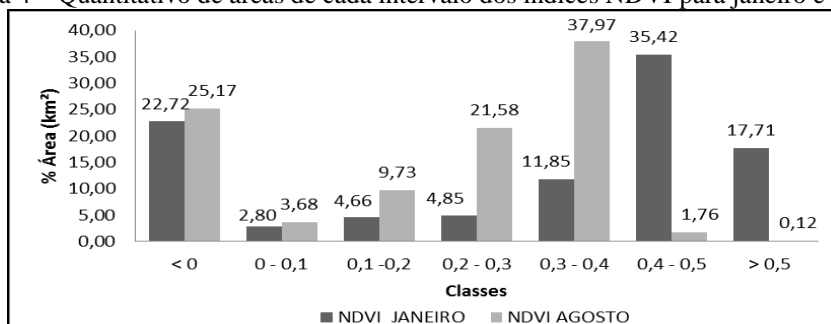


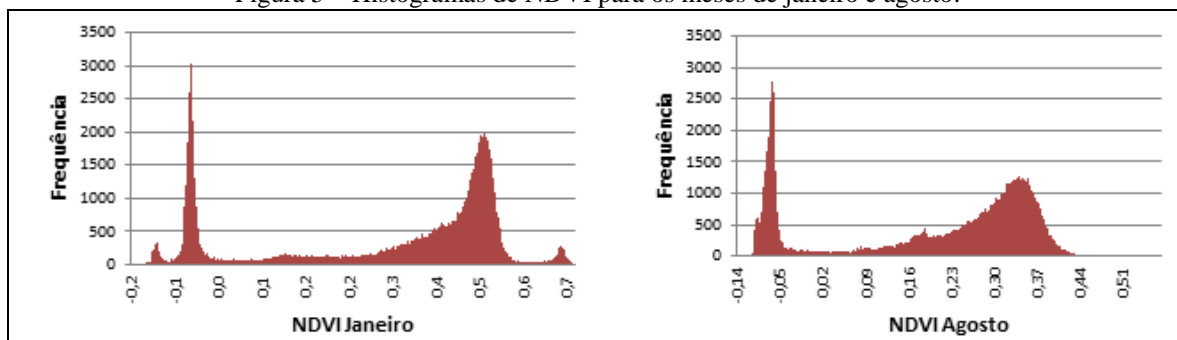
Figura 4 – Quantitativo de áreas de cada intervalo dos índices NDVI para janeiro e agosto.





Os resultados obtidos sobre o NDVI são confirmados pelo histograma de picos de frequência de pixels em cada intervalo (Figura 5). Pode-se perceber um pico acentuado, com valores entre 2500 e 3000 pixels, que representam a superfície ocupada pelo reservatório, com valores de NDVI abaixo de zero, valor esperado para corpos hídricos. O segundo pico acentuado, com valores bem concentrados nos dois casos, representam as áreas com cobertura vegetal densa. No mês de janeiro os valores se acentuam em torno de 0,5 e em agosto percebe-se uma significativa redução dos valores de NDVI, onde as maiores ocorrências se concentram entre 0,30 e 0,37. Estes resultados confirmam, mais uma vez, a relação do vigor da vegetação com a disponibilidade de umidade atmosférica e precipitação.

Figura 5 – Histogramas de NDVI para os meses de janeiro e agosto.



Os resultados obtidos para o sPRI no mês de janeiro indicam as áreas vegetadas e com maior densidade com valores máximos ao 0,53 de produção fotossintética. Considerando que o valor 1 estima o valor máximo de eficiência das plantas em realizar fotossíntese, pode-se considerar que as áreas vegetadas no reservatório possuem uma produção fotossintética média. Esses achados são confirmados por Rahman et al. (2001) quando enfatiza que os valores baixos de sPRI indicam o baixo uso da luz fotossintética e valores altos de sPRI (próximos a 1) indicam o oposto. Logo, pode-se afirmar também, que a utilização de carbono atmosférico pela área vegetada do reservatório é mediana, seja pelo tipo de espécies existentes ou também pela alta exposição da luz em períodos de estresse, forçando a vegetação a reduzir a fotossíntese e investir em processos de foto-proteção (GAMON et al., 1997).

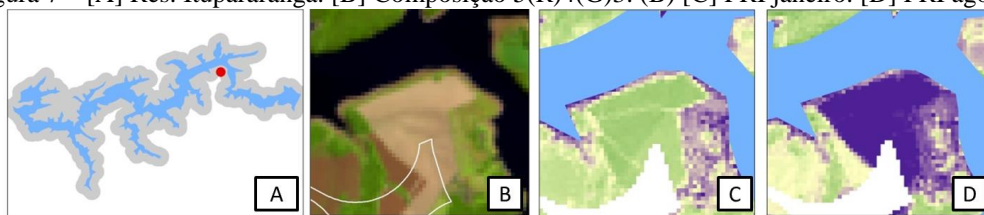
Dois pontos merecem destaque em relação à variação do sPRI (Figuras 6 e 7), nos dois casos há uma redução nos valores do índice em função da retirada da cobertura vegetal, isso pode ser comprovado a partir da imagem composição RGB Figuras (6B e 7B). Como a silvicultura é uma atividade que se desenvolve as margens do reservatório, esta variação mais acentuada do PRI pode está relacionada ao período de extração da madeira. Os tons de verde mais escuro, apresentados nas Figuras 6C e 7C, apresentam sPRI em torno de 0,52 e as imagens subsequentes, com tonalidades mais próximas do lilás, são valores de sPRI entre 0,48 e 0,49.

Figura 6 – [A] Res. Itupararanga. [B] Composição 5(R)4(G)3(B). [C] PRI janeiro. [D] PRI agosto.



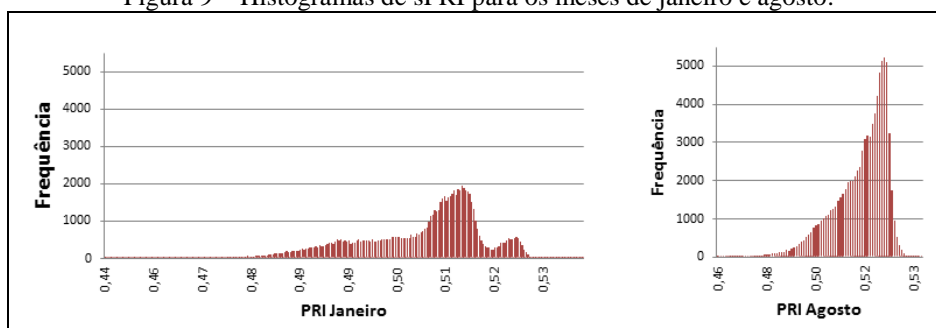


Figura 7 – [A] Res. Itupararanga. [B] Composição 5(R)4(G)3. (B) [C] PRI janeiro. [D] PRI agosto.



Os histogramas do sPRI, apresentados na Figura 9, evidenciam uma variação e uma distribuição diferenciada nos valores deste índice. No histograma de janeiro, percebe-se um pico com concentração menos acentuada, em torno de 0,51, no entanto, a frequência se mantém expandida entre os valores 0,49 a 0,53. No histograma de agosto há uma concentração das ocorrências, apresentado um pico acentuado em torno de 0,52.

Figura 9 – Histogramas de sPRI para os meses de janeiro e agosto.



4. Considerações finais

O sensoriamento remoto mostrou-se uma ferramenta tecnológica rápida, útil e de alta capacidade para avaliação ambiental de áreas de alta importância, como é o caso do reservatório, uma vez que, esta ferramenta ao medir a energia eletromagnética emitida e processar dados por meio das correlações entre bandas espectrais, permitiu avaliar a vegetação como um indicador sensível das ocorrências do uso e ocupação do solo.

Ficou evidenciando que o vigor vegetativo encontra-se maior no período de chuvas e possuem forte influência sazonal das áreas de silvicultura, além de possuir um médio aproveitamento da luminosidade para a produção fotossintética e consequentemente na utilização do carbono atmosférico. Esses indicativos sugerem a necessidade de uma avaliação rigorosa do poder público sobre a área do entorno do reservatório, estimando o redirecionamento das áreas para a permanência de vegetação, a fim de contribuir com o melhor estoque de carbono, produção de água e biomassa vegetal.

Referências

AHAMED, T. TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. “A review of remote sensing methods for biomass feedstock production”. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455–2469, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. M.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. “Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na serra da Mantiqueira, MG”. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014.

CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T. J.; COCHARD, H. “Convergência global na vulnerabilidade das florestas à seca”. *Nature*, v. 491, pg. 752-755, 2012.



CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; BELTRAN, G. R.; ANTUNES, M. L. P.C. et al. “Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP)”. **Química Nova**, v. 34, n. 4, pg. 610-616, 2011.

DELBART, N.; TOAN, T. L.; KERGOATS, L.; FEDOTAVA, V. “Remote sensing of spring phenology in boreal regions: a free of snow effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004)”. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, pg. 52-62, 2006.

DAGBEGNON, C.; DJEBOUA, S.; SINGHA, V. P.; “Retrieving vegetation growth patterns from soil moisture, precipitation and temperature using maximum Entropy C”. **Ecological Modelling**, v. 309–310, pg. 10–21, 2015.

ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS 10.3**. 2014.

ENNES, R. **Potencial das imagens hiperespectrais orbitais na detecção de componentes opticamente ativos no reservatório de Itupararanga**. Tese de Doutorado em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2008, 125f.

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. “The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels”. **Oecologia**, v. 112, pg. 492-501, 1997.

GILLESPIE, T. W. “Predicting woody-plant species richness in tropical dry forests: a case study from South Florida, USA”. **Ecological Applications**, v. 15, n. 1, pg. 27–37, 2015.

JAMALI, S.; SEQUIST, J.; EKLUNDH, L.; ARDO, J. “Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel”. **Remote Sensing of Environment**, v. 141 pg. 79–89, 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. “Elaboração de uma metodologia de avaliação de fragmentos de remanescentes florestais como ferramenta de gestão e planejamento ambiental”. **Ambiência**, v. 10, n. 3, pg. 685 – 698, 2014.

MARTINS, L. N. M.; BAPTISTA, G. M. M. “Análise multitemporal do sequestro florestal de carbono no projeto de assentamento Carão, Acre”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, pg. 1648-1657, 2013.

MEI, A.; MANZO, C.; FONTINOVO, G.; BASSANI, C. et al. “Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data”. **Journal of African Earth Sciences**, v. 30, pg. 1-10, 2015.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. “The meaning of spectral vegetation indices”. **IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing**, v. 33, pg. 481 – 486, 1995.

PREDAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V. et al. “Avaliação da qualidade da água no reservatório de Itupararanga, bacia do Alto Sorocaba (SP)”. **Geociências**, v. 33, n. 1, pg. 26-38, 2014.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: FRADEN, S. C.; MARCANTI, E. P.; BECKER, M. A. **Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium**. Washington: NASA, 1973. 309-317 p.

SÃO PAULO. **Lei 10.100 de 1º de dezembro de 1998**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental de Itupararanga. 1998.