

Abordagem semi-automática de imagens multitemporais para caracterização e monitoramento das florestas plantadas de seringueira

Luciana Spinelli-Araujo¹
Daniel Gomes¹
Luiz Eduardo Vicente¹
Paolla Pierin Bensusaski²

¹ Embrapa Meio Ambiente – Plataforma ABC
Rodovia SP 340, Km 127,5, Tanquinho Velho - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil
{luciana.spinelli, daniel.gomes, luiz.vicente}@embrapa.br

² Faculdade de Tecnologia / Unicamp
Limeira-SP
paolla.pb@gmail.com

Abstract. The objective of this work is to present a multi-temporal analysis of images for the identification, characterization and monitoring of rubber tree crops. The use of high and medium spatial resolution images along with vegetation index analysis and the inclusion of images from the crop's different phenological stages enabled its mapping and characterization for 2007 and 2015. The dynamic analysis of the culture for the period between 2007 and 2015 showed a growth rate of 170%, which corroborated the data from LUPA for 2007/2008 to 2013.

Palavras-chave: hevea, seringueira, rubber, landsat, temporal analysis.

1. Introdução

Dentre as espécies que vêm sendo utilizadas em plantios florestais comerciais, a seringueira (*Hevea brasiliensis*), maior fonte de borracha natural no mundo, caracteriza-se pelo crescimento rápido, podendo permanecer produtiva por pelo menos 40 anos (Gonçalves et al., 2011). No Brasil, 54% da borracha natural produzida são oriundas dos seringais de São Paulo, estado que teve um grande aumento da produção a partir de 1990 e outro após 2008 (IAC, 2016).

Entre os benefícios das florestas plantadas, como os plantios de seringueira, estão o aumento do teor de matéria orgânica e de carbono do solo, auxílio na redução da emissão de CO₂ e de outros GEE e a possibilidade de uso em pequenas propriedades rurais, com aumento da produtividade agrícola e da renda do produtor rural (Brasil, 2016). Com a Lei Estadual nº 12.927 de 2008, a seringueira pode ainda ser empregada para recomposição da reserva legal e explorada por um período de acordo com os dispositivos da legislação, reforçando a necessidade de técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento dessa cultura.

Devido à estrutura similar a outras espécies nativas, o que reflete nas respostas da imagem, a discriminação dos plantios de seringueira é por vezes comprometida com a semelhança com a vegetação arbórea natural. Por sua vez, a seringueira é uma espécie caducifólia, ou seja, perde suas folhas durante uma parte do ano. De acordo com dados do IAC (2016), essa sazonalidade da área foliar da seringueira é determinada pelo clima, sendo que no Estado de São Paulo essa periodicidade compreende senescência, com área foliar mínima entre agosto-setembro, reenfolhamento e florescimento em setembro-outubro, área foliar máxima e frutificação entre novembro e fevereiro, com início da deiscência dos frutos. De março até junho, a planta dispõe do máximo de energia e condições de produtividade (Ortolani et al., 1996, *apud* IAC, 2016).

Para Dong et al. (2013), a forma de distinguir as florestas sempre verdes, que não perdem suas folhas durante todo o ano, das seringueiras foi empregando imagens de 2 períodos - na época de perda de folhas da seringueira e na época do crescimento das folhas novas. Benuaski et al. (2015) avaliaram o potencial de aplicação do algoritmo “*Spectral Angle Mapper*” (SAM) em imagens OLI/Landsat na identificação das áreas de seringueira, resultando em 33,3% de acertos e 51,3% de erros aceitáveis. Os autores também identificaram a necessidade de incorporar uma imagem do período de senescência da seringueira às análises realizadas, visando auxiliar na caracterização das diferentes fases fenológicas, o que poderia melhorar a discriminação dessa cultura em relação às demais classes de uso e cobertura da terra na área de estudo.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar e estabelecer a metodologia para identificação, caracterização e monitoramento da cultura de seringueira através de abordagem semi-automática de imagens multitemporais, com base em uma área amostral na região noroeste do estado de São Paulo.

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região noroeste do Estado de São Paulo, abrangendo 4 sub-bacias hidrográficas do Rio Tietê - Córrego da Arribada, Ribeirão Santa Bárbara, Ribeirão São Jerônimo e Ribeirão das Corredeiras, com uma área aproximada de 183 mil hectares (Figura 1). De acordo com dados do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuárias (São Paulo, 2015), na Regional Agrícola de São José do Rio Preto, onde parte da área de estudo está inserida, foi identificado incremento de 13 mil ha na área cultivada de seringueira entre os anos de 1995/96 e 2007/08.

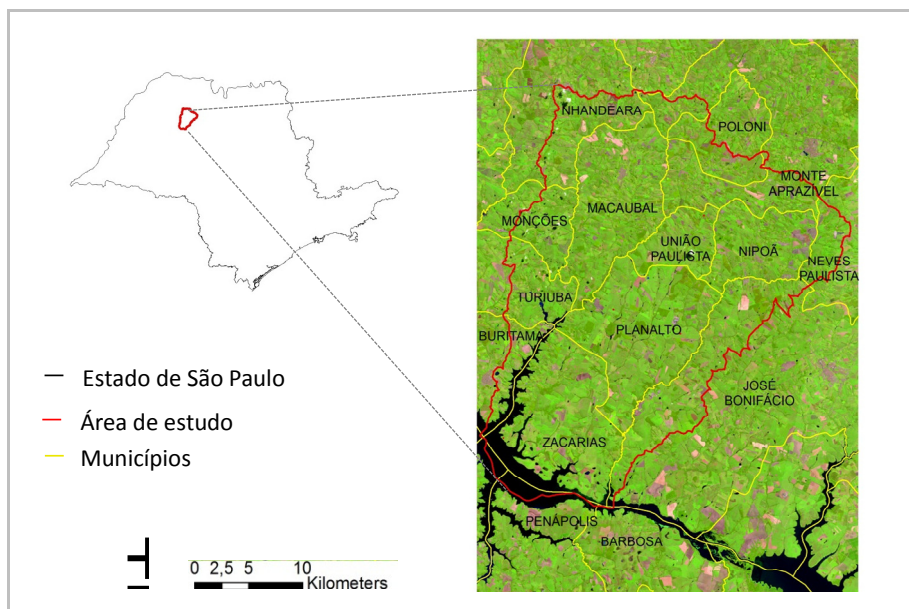


Figura 1. Estado de São Paulo com localização da área de estudo e detalhamento da área em imagem OLI/Landsat de maio de 2015 (R6G5B4).

3. Dados e Métodos

Para o monitoramento e avaliação da dinâmica da atividade de heveicultura, foi considerado o período entre 2007, antes do início da segunda fase de incremento da produção no estado de São Paulo (IAC, 2016), e 2015, data da análise dos dados. Foram empregadas

imagens Landsat, órbitas/pontos 221/74, 221/75, 222/74 e 222/75, sendo do sensor TM para o ano de 2007 e do sensor OLI para o ano de 2015. Para cada ano foram selecionadas 2 datas considerando a sazonalidade da área foliar da seringueira de acordo com dados do IAC (2016) e da disponibilidade de imagens sem nuvens, sendo empregadas as datas de maio e de agosto pela proximidade com os períodos de alto índice de área foliar e de senescência, respectivamente.

As imagens Landsat foram calibradas e corrigidas radiometricamente empregando os parâmetros atmosféricos do site *Giovanni* (NASA, 2015; Gomes et al., 2015; Acker & Leptoukh, 2007). A análise das imagens foi realizada com um método semi-automatizado, com uma etapa de segmentação no *software* Spring seguida da classificação visual dos polígonos resultantes, tendo como base as imagens de maio de cada ano. Com as imagens Landsat de ambas as datas classificadas, foi realizada a análise da dinâmica da atividade na área de estudo.

Como dados de referência para apoiar a discriminação das classes de seringueira, a classificação de 2015 contou com o conjunto de informações de campo e com imagens de alta-resolução, Ikonos e Geoeye (3,2 e 2 metros de resolução espacial, respectivamente); para as imagens de 2007 foram empregadas informações da série de imagens temporais do *Google Earth*. Adicionalmente, séries temporais de dados de NDVI do sensor MODIS (<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/> e <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>) foram empregadas para apoiar a discriminação dos plantios e dos estágios fenológicos da seringueira.

O levantamento de campo foi realizado entre 23 e 27 de março de 2015, com um total de 571 pontos identificados com informações de localização e classe de uso da terra, sendo 97 desses referentes às classes de seringueira. Na oportunidade, foram observadas diferentes fases de desenvolvimento da seringueira, posteriormente agrupadas para as etapas de identificação e caracterização dessa cultura nas imagens Landsat.

4. Resultados e Discussão

4.1 Estágios da seringueira

As diferentes fases da seringueira observadas em campo (Figura 2) foram agrupadas em três classes: fase pós-plantio, denominada seringueira 1, fase jovem/madura, mas ainda sem o dossel contínuo, denominada seringueira 2 e fase adulta com dossel contínuo, denominada seringueira 3. Ainda durante o campo foram identificados diferentes sistemas de plantios, especialmente em relação a espaçamentos diversos com variações no adensamento dos talhões, e no uso consorciado com outras culturas, o que também pode refletir em características distintas nas imagens. Comumente, os plantios podem ser dispostos de várias formas (triangular, quadrangular, retangular, em linhas múltiplas), com uso de espaçamentos retangulares distribuídos em 7m x 3m, 8m x 2,5m ou 8m x 3m (IAC, 2016). Em alguns plantios são adotados linhas duplas, em que os espaços entre as plantas e as linhas duplas não sejam inferiores a 2,5 metros e 10 metros, respectivamente, visando à exploração agrícola mais rentável (CEPLAC, 2016).

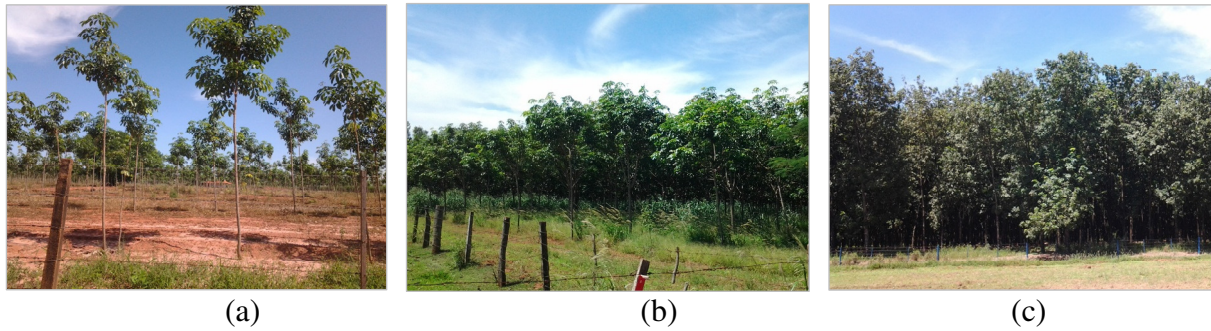


Figura 2. Classes de seringueira consideradas nas análises - seringueira pós-plantio (a), seringueira jovem (b) e seringueira adulta (c).

4.2 Classificação das imagens Landsat

O processo de classificação foi iniciado com a imagem de 2015, para estabelecimento dos padrões das classes de seringueira, tendo como apoio os dados de campo e imagens de alta-resolução. Contudo, considerando a resolução de 30m das imagens Landsat, as classes de seringueira referentes aos estágios de desenvolvimento pós-plantio não foram identificadas nas análises exploratórias. De acordo com Bensuski et al. (2015), na fase inicial do plantio, quando ainda se tem grande influência da resposta do solo e pouca influência do dossel nas imagens, conforme observado na Figura 2a, a seringueira pode ser confundida com áreas de pasto ou solo exposto e, assim, apesar da disponibilidade de dados de campo para análise da imagem de 2015, para a imagem de 2007 seria inviável a discriminação desses alvos. Dessa forma, a classificação refere-se especialmente as áreas das classe de seringueira jovem e adulta, com dossel mais fechado.

Nessa etapa a utilização da imagem de outra época de desenvolvimento da seringueira foi fundamental para a discriminação entre esses plantios e as áreas de vegetação natural e outras culturas agrícolas nas 2 datas de interesse. Como pode ser observado na Figura 3, os padrões da seringueira para a data de maio é bastante distinto em relação a agosto, enquanto do remanescente florestal, pouco varia. Esse comportamento nas fases fenológicas típicas da seringueira também é identificado nos perfis temporais de NDVI (Figura 4) quando comparados às amostras de remanescente florestal.

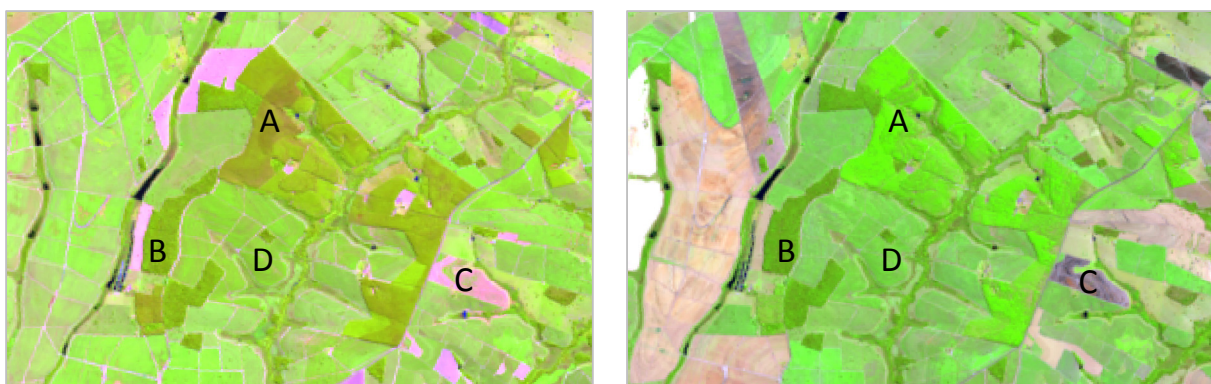


Figura 3. Imagens Landsat, composição R6G5B4, de maio (a) e agosto (b) de 2015, com as classes de interesse seringueira (A), remanescente florestal (B), agricultura (C) e pasto (D).

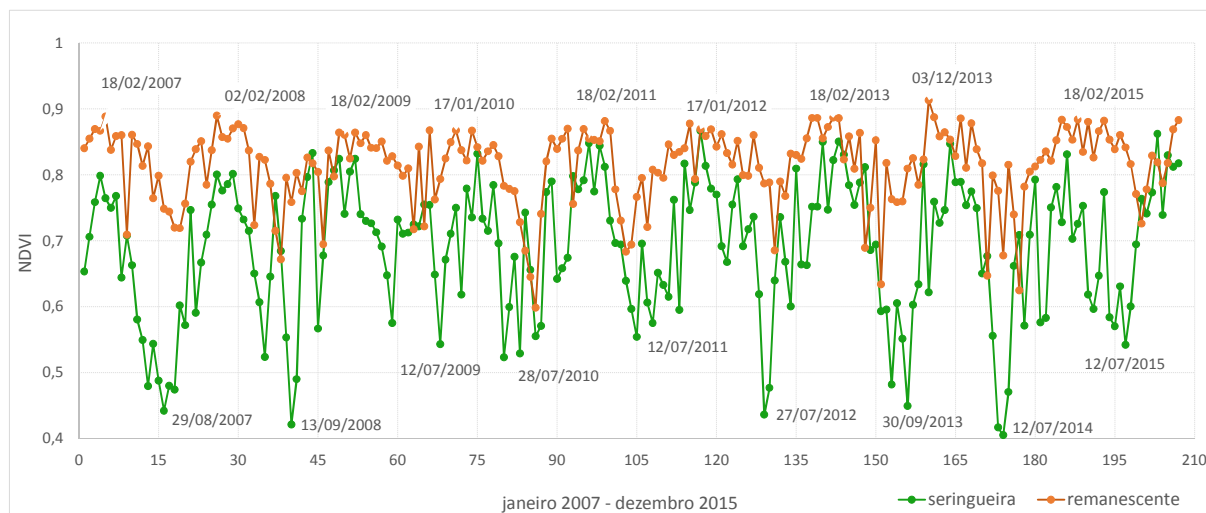


Figura 4. Perfis temporais de NDVI para amostras de seringueira e remanescente florestal.

Na série temporal, em todo o período analisado, os valores de NDVI da seringueira foram inferiores ao de remanescentes florestais, contudo, com um mesmo padrão de comportamento. A diferença é destacada quando analisa-se as duas fases fenológicas típicas da seringueira: nos meses entre novembro e fevereiro, época da área foliar máxima, e entre julho e setembro, em que há um decréscimo grande nos valores de NDVI da seringueira, referente à época da desfolha. Esse comportamento entre os alvos é semelhante ao identificado em Dong et al. (2013), que relata o emprego de imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Realce da Vegetação (EVI) do Landsat para a discriminação fenológica das seringueiras. Também na China, Senf et al. (2013) demonstraram melhora na acurácia da discriminação da seringueira usando métricas das séries temporais do MODIS e EVI. Com a análise integrada multisensor foi realizado o mapeamento dos plantios de seringueira na área de estudo para os anos de 2007 e 2015 (Figura 5).

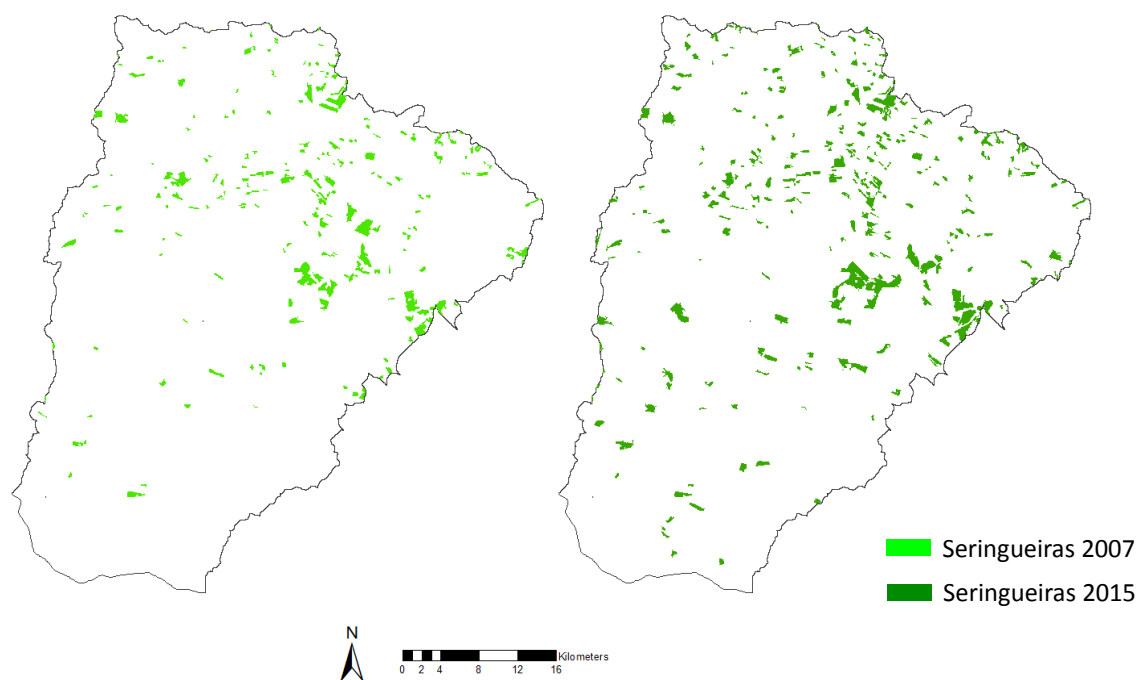


Figura 5. Distribuição dos plantios de seringueira na área de estudo para os anos de 2007 e 2015.

Nessas análises devem ser consideradas as particularidades dos plantios, como o uso de clones; São Paulo é o Estado no qual os clones de seringueira têm apresentado maior produtividade de borracha no Brasil (Alem et al., 2015). O Clone PB235, por exemplo, já introduzido no país (Amaral et al., 2011), apresenta senescência parcial na Costa do Marfim, não ocorrendo o desfolhamento total, e a queda das folhas é muito lenta dentro da própria estação (IAC, 2016), o que pode sugerir adaptações nessa metodologia baseada na variação fenológica da cultura, especialmente em relação ao período de desfolha.

4.3 Dinâmica da heveicultura na área de estudo

A partir da classificação de 2007 e de 2015 foi analisada a dinâmica da heveicultura na área de estudo. Em 2007, foram identificados 4979,01 ha de seringueira, enquanto em 2015 esse valor quase duplicou, sendo de 8482,51 ha, indicando que a atividade continua a avançar na região. De acordo com dados da Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (São Paulo, 2016b) baseados no LUPA 2013, a estimativa de área de seringueira para o ano de 2013 na Regional Agrícola de São José do Rio Preto foi de 28.047,24 ha, seguindo a tendência de incremento observada nos dados do LUPA (São Paulo, 2015) entre 1995/96 (8.296,7 ha) e 2007/08 (21.547,1 ha). Considerando esses dados do LUPA para o período de 2007/2008 a 2013, a taxa de incremento de áreas de seringueira para a Regional Agrícola de São José do Rio Preto foi de 130% enquanto no mapeamento com as imagens multi-temporais a taxa foi de 170%, considerando o período entre 2007 e 2015 (Figura 6).

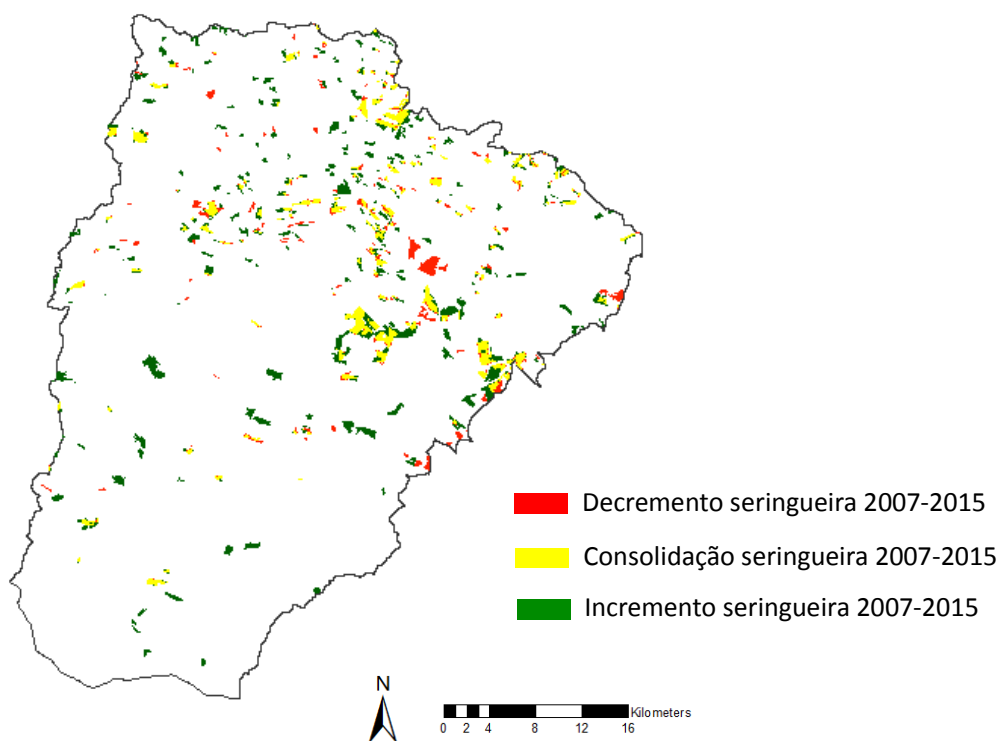


Figura 6. Distribuição das áreas com incremento, decremento e consolidação de seringueira no período entre 2007 e 2015.

A *Hevea brasiliensis* é uma das espécies sugeridas para implantação nas florestas plantadas do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a

Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). Dentre os Programas do Plano ABC, o de Florestas Plantadas visa o plantio de 3 milhões de hectares de florestas econômicas, contando com uma linha de crédito rural para financiamento da atividade. Assim, considerando um possível crescimento de iniciativas dos plantios de seringueira, é fundamental a continuidade de monitoramento dessas áreas e o entendimento das particularidades dos plantios.

5. Conclusões

Nesse trabalho foi apresentada uma análise multitemporal de imagens Landsat para a identificação, caracterização e monitoramento da cultura de seringueira. O emprego em conjunto de imagens de média e alta resolução espacial, aliada a análise de índices de vegetação, e a inclusão de imagens em datas com diferentes fases fenológicas da cultura, possibilitou a caracterização e o mapeamento da seringueira na área de estudo. A análise da dinâmica da cultura demonstrou que a área segue a tendência de incremento observada nos dados do LUPA para o mesmo período.

Nos mapeamentos foi empregado o método semi-automatizado, com a segmentação automática e classificação manual. Os avanços nesses estudos devem considerar a automatização da classificação, com algoritmos inseridos em regras de decisão considerando atributos da classe seringueira para duas datas de um mesmo ano, como identificado nesse trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa pelo apoio no recurso de estágio e pelo suporte no levantamento de campo. Este trabalho apresenta resultados obtidos por meio de dados produzidos pelo sistema online Giovanni, desenvolvido e mantido pelo Centro GES DISC da NASA.

Referências Bibliográficas

- Acker, J. G.; Leptoukh, G. Online analysis enhances use of NASA Earth Science data. **Eos**, Transactions AGU, v. 88, n. 2, p. 14-17, 2007.
- Alem, H. M.; Gouvêa, L. R. L.; Silva, G. A. P.; Oliveira, A. L. B.; Gonçalves, P. de S. Avaliação de clones de seringueira para a região noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, 62(5), 430-437. 2015.
- Amaral, C. H.; Almeida, T. I. R.; Souza Filho, C. R.; Magalhães, L. A.; Alves, M. N. Variação espectral de clones de seringueira utilizando imagens hiperespectrais do sensor aerotransportado ProSpecTIR-VS de duas datas do final do outono. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8469-8475.
- Bensuaski, P. P.; Spinelli-Araujo, L.; LOEBMANN, D.G.S.W.; SANTOS, V. C.; VICENTE, L. E. . Potencial de aplicação do algoritmo SpectralAngleMapper (SAM) em imagens Landsat para discriminação de áreas de seringueira. In: 9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 2015, Campinas. **Anais CIIC 2015**, 2015.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Florestas Plantadas. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Abc/3.pdf>. Acesso em: 17 set. 2016.
- Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacauera (CEPLAC). **Seringueira**. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/seringueira.htm>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- Dong, J.; Xiao, X.; Chen, B.; Torbick, N.; Jin, C.; Zhang, G.; Biradar, C. Mapping deciduous rubber plantations through integration of PALSAR and multi-temporal Landsat imagery. **Remote Sens. Environ.**, 134, 392-402, 2013.
- Gomes, D.; Silva, R.F.B.; Vicente, L.E.; Victoria, D. Atmospheric correction of GeoEye-1 images using MODIS-based parameters. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7270-7278.

Gonçalves, E. C. P.; Filho, A. C.; Benesi, J. F. C. Bettini, M. O.; Martins, L. Efeitos da irrigação nos dois primeiros anos na cultura da seringueira. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 8, n. 2, 2011.

Instituto Agrônomo de São Paulo (IAC). **A importância da borracha nacional**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/>>. Acesso em: 20 set. 2016.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Giovanni - (GES) Data and Information Services Center – NASA**. Disponível em: <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/index.html>>. Acesso em: 07 jun 2015.

Ortolani, A.A.; Sentelhas, P.C.; Camargo, M.B.P.; Pezzopane, J.E.M.; Gonçalves, P.S. Agrometeorological models to estimate annual and seasonal production of latex in rubber. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 4(1): 147-150, 1996.

São Paulo (Estado). Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. **Implantação e Manejo da Cultura da Seringueira**. Disponível em: <<http://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/gdsv/conteudoPalestras/IV-Encontro-2015/09-ImplantacaoeManejodaCulturadaSeringueira-PauloFernandodeBrito.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

São Paulo (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetoLUPA>>. Acesso em: 15 set. 2016b.

Senf, C.; Pflugmacher, D.; van der Linden, S.; Hostert, P. Mapping Rubber Plantations and Natural Forests in Xishuangbanna (Southwest China) Using Multi-Spectral Phenological Metrics from MODIS Time Series. **Remote Sens.** 2013, 5, 2795-2812.