

Análise da expansão da cana-de-açúcar e seus efeitos sobre outras classes de cobertura da terra na Região Administrativa de Barretos-SP

Bruno Silva Oliveira¹
Elisabete Caria Moraes¹
Guilherme Augusto Verola Mataveli¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bruno.so, bete, mataveli}@dsr.inpe.br

Abstract. Sugarcane is an economically important crop in Brazil, mainly due to the growing demand for ethanol that results from both the mixture of ethanol in gasoline and the popularization of flex fuel cars after 2003. The expansion of this crop was intense in South-Central Brazil, especially in São Paulo State, which presents the largest planted area of sugarcane in the country. Thus, becomes important to evaluate the dynamics of the expansion of this crop and its impact over land cover changes. In this context, this study aimed to evaluate land cover changes resulting from the expansion of sugarcane crop between 2003 and 2010 in the administrative region of Barretos, which has one of the highest concentrations of planted area of sugarcane in São Paulo State. For this purpose, thematic maps of 2003 and 2010 Landsat images, generated using object-oriented classification, were compared. Furthermore, cell space analysis was used to evaluate the concentration of sugarcane crop in the study area, and landscape metrics were used to check the condition of the remaining forest areas. The results show that sugarcane crop replaced mainly pastures and other crops. Cell space analysis allowed a more objective visualization of the spatial distribution of sugarcane crop in the study area, integrating data from different sources. The landscape metrics indicated that there was a reduction in forest area and an increasing in the isolation of forest fragments, which reduces the conditions for maintaining biodiversity in the region.

Palavras-chave: sugarcane, expansion, land cover change, cana-de-açúcar, expansão, mudança de cobertura da terra.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola desenvolvida no Brasil desde o período colonial e sempre destacou-se pela grande importância econômica no país, sendo hoje responsável por mais da metade da produção mundial de açúcar. Além disto, nas últimas décadas houve uma grande expansão da cultura devido à crescente demanda de etanol, decorrente tanto da mistura do etanol na gasolina quanto da popularização dos carros *flex* após o ano de 2003 (RUDORFF et al., 2010). O aumento da demanda mundial por biocombustíveis exige a conversão de áreas de culturas convencionais e pastagens em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, causando mudança do uso e ocupação da terra (LOARIE et al., 2011) e o Ministério da Agricultura (MA, 2014) prevê um crescimento desta produção para 2018 e 2019 de 3,25%. A intervenção antrópica gerada por esta monocultura gera questionamentos socioambientais que ainda não foram bem respondidos, como a questão do desmatamento e perda de biodiversidade, o conflito da produção de biocombustíveis versus produção de alimentos, efeitos indiretos da mudança de uso da terra, poluição da área, compactação e erosão do solo, entre outros (NASSAR et al., 2008).

A expansão desta cultura é intensa na região Centro-Sul do Brasil, em especial no Estado de São Paulo. Entre os anos de 2003 e 2013, a área plantada de cana-de-açúcar no estado aumentou 92%, em decorrência da crescente demanda do produto para produção de etanol (INPE, 2014). Segundo a União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2014), a safra de 2011/2012 indicou que a região Centro-Sul foi responsável por aproximadamente 90% da produção nacional de etanol e de 87% da produção de açúcar.

Entre as Regiões Administrativas (RAs) do Estado de São Paulo, destacam-se as de Ribeirão Preto, Franca e Barretos, todas no nordeste do Estado, onde se tem a maior concentração da cultura, de acordo com os dados do Projeto Canasat (INPE, 2014). Segundo

2014). Esse produto fornece a reflectância da superfície nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. O mosaico de imagens ETM+ foi utilizado na classificação com a qual se gerou o mapa de cobertura da terra para o ano de 2003.

2.2.2. Mapas do projeto Canasat

As áreas de cana-de-açúcar na RA de Barretos foram obtidas dos mapas temáticos do Projeto Canasat (INPE, 2014), para as safras 2003 e 2010, nos quais as classes “cana-planta”, “cana soca” e “reformada” foram agrupadas em uma única classe, enquanto a classe “em reforma” foi excluída. Dessa forma, a avaliação abrange a área total de cana-de-açúcar disponível para colheita em cada ano.

2.2.3. Mapas de cobertura da terra

Os mapas de cobertura da terra foram elaborados para os anos de 2003 e 2010, seguindo as classes apresentadas na Figura 2. Para o ano de 2003, foi necessário inicialmente classificar o mosaico de cenas Landsat 7. Optou-se por uma classificação orientada a objeto, utilizando o programa eCognition. Esse procedimento envolveu primeiramente a segmentação das imagens (utilizando o algoritmo implementado no eCognition, baseado em crescimento de regiões), seguida da construção do conjunto de treinamento, construção da árvore de decisão e classificação. Para criar a árvore de decisão foi utilizado o programa WEKA, empregando os atributos espectrais (Média, Brilho, Máxima diferença, Desvio Padrão, NDVI) e de forma/textura (comprimento de borda, homogeneidade, textura), gerados com as bandas de reflectância da imagem Landsat (bandas do espectro solar.) e as imagens resultantes do Modelo Linear de Mistura Espectral (fração sombra, fração solo fração vegetação), seguindo a descrição de atributos apresentada por Vieira et al. (2012). No Weka, o algoritmo utilizado para gerar a árvore de decisão foi o J4.8 (QUINLAN, 1993). Após a classificação, as áreas de cana-de-açúcar (obtidas do mapeamento do Canasat) foram unidas ao mapa classificado de 2003, obtendo-se por fim o mapa de cobertura da terra para esse ano.

O mapa de cobertura da terra para o ano de 2010 foi obtido em formato *shapefile* no *site* da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do Governo do Estado de São Paulo, em sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000, escala 1:100.000. O mapeamento foi realizado com base em imagens TM/Landsat 5 do ano de 2010, por meio de uma classificação orientada a objeto e correção visual posterior. As classes de cobertura da terra empregadas nesse mapa foram: corpos d’água, cobertura arbórea (floresta), cobertura herbácea arbustiva (agricultura/pastagem), área construída e solo exposto, conforme apresentado na Figura 2. Através do programa ArcGIS foi realizada a união desse mapa com o mapeamento do Canasat para o ano de 2010, obtendo-se então um mapa de cobertura compatível com o elaborado para o ano de 2003.



Figura 2. Classes de cobertura da terra empregadas no estudo.

2.3. Análise em espaço celular

Visando integrar os dados de diferentes fontes, foi utilizado o módulo de extensão de preenchimento de células no sistema de informações geográficas TerraView v.4.2.2. Essa ferramenta permite o cálculo de atributos de tabelas associadas às células, com objetivo de homogeneizar informações de diferentes fontes e em diferentes formatos, agregando-os com uso de diversas opções de operadores (INPE, 2013). Nessa etapa, foram realizados testes para o tamanho das células (250m, 500m, 1000m, 2000m e 3000m), optando-se por trabalhar com

células de 1000 m, pois esse tamanho mostrou-se mais compatível com os polígonos do mapa de cobertura da terra.

2.4. Métricas de paisagem

Buscando caracterizar os remanescentes florestais da RA de Barretos, frente à expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2003 e 2010, foram geradas no programa Fragstats v4.2 (McGARIGAL et al., 2012) as métricas relativas às manchas, classes e paisagem.

Para inserir os dados de cobertura da terra no Fragstats, foi necessário converter os mapas de cobertura da terra de formato *shape* para formato RAW, e para isso utilizou-se o SPRING v.4.3.3. Os mapas de cobertura em formato shape foram importados no sistema de informações geográficas SPRING, convertidos para *raster* e, então, exportados como arquivos RAW. No Fragstats, os arquivos de 2003 e 2010 foram importados, sendo constituídos por 3850 colunas e 3795 linhas, com células de tamanho 30m. A descrição das classes contidas nos arquivos *raster* foi inserida em um arquivo de texto (.txt), que é utilizado como entrada no Fragstats v4.2.

3. Resultados e Discussão

3.1. Mapas de cobertura da terra

Aplicando a metodologia descrita para compatibilização dos dados e geração dos mapas de cobertura da terra para os anos de 2003 e 2010, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 3. Pode-se verificar, visualmente, uma grande expansão da classe cana-de-açúcar entre os dois anos, porém as análises seguintes buscam quantificar as áreas convertidas para essa classe.

Destaca-se que a classe “solo exposto” existe nos dois mapas, visto que os mesmos foram elaborados utilizando imagens orbitais de uma única data. Apesar disso, essas áreas de solo exposto não correspondem à classe cana-de-açúcar, pois os mapas do projeto Canasat levam em conta diversas imagens, caracterizando este como um produto multitemporal. Portanto, a classe solo exposto nos mapas de cobertura da terra gerados nesse trabalho possivelmente correspondem a áreas de pastagem ou outras culturas. Desse modo, neste estudo a classe “Solo exposto” foi tratada separadamente da classe “Agricultura/ Pastagem”.

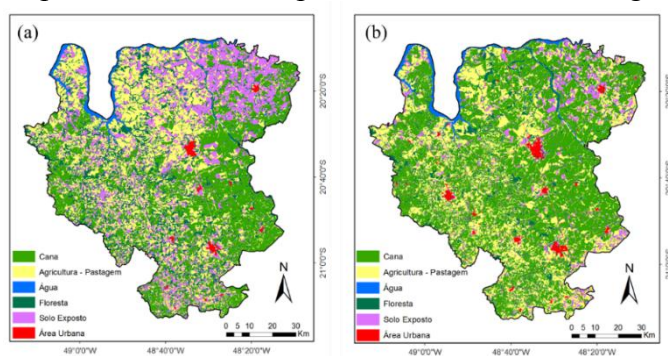


Figura 3. (a) Mapa de cobertura da terra gerado para o ano de 2003; (b) mapa de cobertura da terra gerado para o ano de 2010.

No ArcGIS 10.2 os mapas de cobertura da terra de 2003 e 2010 foram cruzados (comando *intersection*), de forma a se verificar quais áreas foram convertidas para a classe cana-de-açúcar em 2010 e, com isto determinar o tipo de mudança que houve (ou não). A Figura 4 mostra as mudanças de cobertura que ocorreram de outras classes para a classe cana-de-açúcar (Figura 4a e 4b) e a porcentagem de mudanças de classe floresta para outras classes. Conforme apresentado na Figura 4b, destaca-se que 47% das áreas convertidas pra a classe “Cana-de-açúcar” eram áreas de pastagem ou outras culturas agrícolas em 2003, e

cerca de 39% correspondia a classe solo exposto, como também é possível verificar visualmente na Figura 4a. Considerando que as áreas de solo exposto correspondem a outras culturas ou pastagem, seriam 86% da área convertida para cana-de-açúcar com “Agricultura/Pastagem” como cobertura anterior.

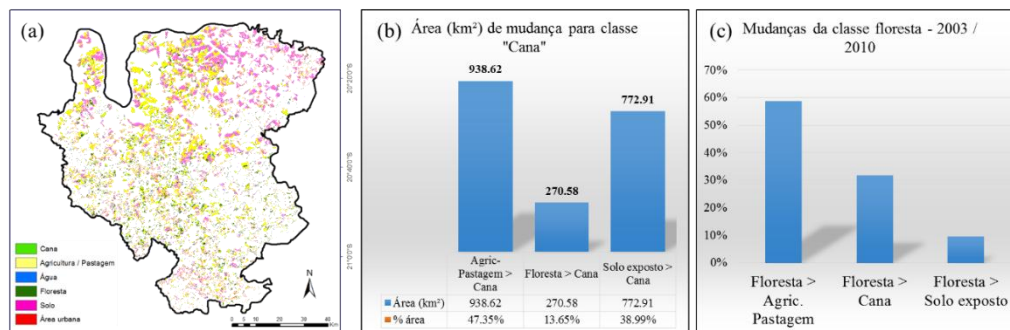


Figura 4. (a) Áreas com mudança de cobertura para classe “Cana-de-açúcar”; (b) gráfico das áreas de cada classe convertidas para cana-de-açúcar.

Esse resultado se aproxima do verificado (para a região Centro-Sul entre 2000 e 2009) por Adami et al. (2012), em que 94% das áreas convertidas para cana-de-açúcar eram áreas de pastagem ou de outras culturas anteriormente. Segundo Rudorff et al. (2010), para a RA de Barretos na safra 2008, 84,8% das áreas convertidas para cana-de-açúcar eram anteriormente outras culturas agrícolas e 5,3% eram áreas de pastagem.

Para a classe Floresta (13,63% das áreas convertidas para cana-de-açúcar) o resultado difere do apresentado por Adami et al. (2012), em que somente 0,6% das áreas convertidas para cana-de-açúcar eram floresta anteriormente. A maior área verificada neste estudo pode ser decorrente das diferenças entre os critérios de classificação adotados para o ano de 2003 e os empregados no mapa de cobertura da terra da SMA (2010). Além disso é possível que áreas de eucalipto ou reflorestamento, classificadas como floresta, foram posteriormente convertidas para cana-de-açúcar, contribuindo na estimativa de mudança da classe Floresta.

Embora pesquisas descrevam que a expansão da cana-de-açúcar as áreas de floresta sofreram poucos impactos, é necessário avaliar de que forma as áreas referentes a essa classe estão sofrendo influência da dinâmica de expansão da cana-de-açúcar e outras classes de cobertura da terra (Figura 4c). Das áreas mapeadas como Floresta em 2003, 58,75% foram classificadas como Pastagem/Agricultura em 2010, 32% foram mapeadas como cana-de-açúcar e 10% como solo exposto. Como esse estudo avalia apenas dois anos, não se pode afirmar categoricamente que as áreas de floresta de 2003 mapeadas como cana-de-açúcar em 2010 foram convertidas diretamente. Para isso seria necessário a análise ano a ano, como a realizada por Adami et al. (2012), que verificaram nas regiões de expansão da cana-de-açúcar, que as áreas ocupadas inicialmente por floresta e que foram convertidas para cana-de-açúcar passaram primeiramente por uma conversão para pastagem, sendo ocupadas posteriormente por outras culturas agrícolas ou pela cana-de-açúcar.

3.2. Preenchimento de células - TerraView

Os resultados obtidos com o preenchimento de células no TerraView (utilizando o operador de porcentagem de classes nas células) são apresentados na Figura 5. Verifica-se que em 2003 a cana-de-açúcar estava mais concentrada na porção leste da RA de Barretos, principalmente nos municípios de Jaborandi, Terra Roxa e Viradouro, onde a proporção da classe Cana-de-açúcar chega a quase 100% nas células. Já em 2010 nota-se que a cultura se expandiu por toda a RA, intensificando-se nos três municípios citados acima.

Os histogramas apresentados na Figura 6 foram gerados para auxiliar na análise dos mapas apresentados na Figura 5. Estes histogramas representam a contagem de células em cada intervalo de porcentagem da classe “Cana-de-açúcar”.

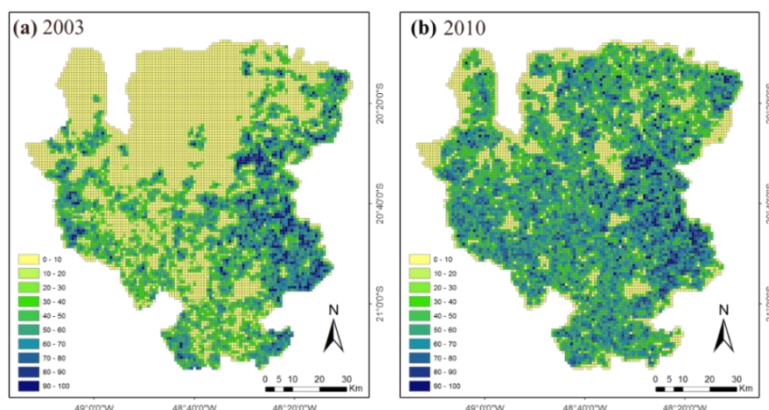


Figura 5. Mapas de porcentagem da classe “Cana-de-açúcar” nas células de 1000m segundo o preenchimento de células no TerraView, para os anos de 2003 e 2010.

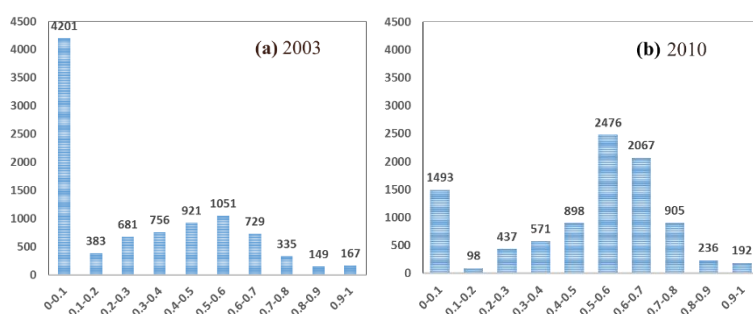


Figura 6. Histograma da porcentagem da classe “Cana-de-açúcar” nas células de 1000 m, geradas com o plugin de preenchimento de células do TerraView, para os anos de 2003 e 2010.

Para 2003 na RA de Barretos, 4201 células continuam menos de 10% da área ocupada pela classe “Cana-de-açúcar”, destacando-se ainda o intervalo entre 50 e 60%, com 1051 células. A maior quantidade de células que havia em 2003 com menos de 10% ocupado pela classe cana-de-açúcar é distribuída entre os outros intervalos em 2010, o que reforça a ocorrência de aumento das áreas de cana-de-açúcar em toda a RA, com uma acentuada concentração de células apresentando entre 50 e 80% da área ocupada por cana-de-açúcar.

3.3. Métricas de paisagem - Caracterização das áreas de remanescentes florestais

Aplicando a metodologia descrita no item 2.4, foram geradas as métricas de Polígonos (Manchas), Classes e Paisagem. A Tabela 1 apresenta as métricas de mancha calculadas para os remanescentes florestais na RA de Barretos para os dois anos avaliados.

Tabela 1. Métricas de mancha geradas no Fragstats para os remanescentes florestais na RA de Barretos para os anos de 2003 e 2010.

Métricas	2003	2010
Área total (ha)	145493	91393
Área média (ha)	38.76	22.61
Perímetro médio(m)	5036.20	3780.59
Perímetro/Área média	455.86	504.64
Índice de forma médio	1.92	1.93

A área total dos fragmentos de floresta na RA de Barretos foi reduzida em 37% (de 145.493 ha em 2003 para 91.393 ha em 2010) e a área média das manchas de floresta foi reduzida em 42%. Porém, tal intensidade na redução na área total e média das manchas se deve, entre outros fatores, ao fato de áreas de eucalipto ou reflorestamento ter sido classificadas como floresta em 2003, por exemplo, e em 2010 já haviam sido substituídas por outras culturas, pastagem ou cana-de-açúcar. O perímetro médio das manchas foi reduzido em

25%, porém os valores médios mostram que com relação ao padrão espacial das manchas, a situação não se modifica muito, o que se percebe pelo índice de forma médio ou pela relação perímetro/área (que foi maior em 2010, na média, devido à redução de área das manchas).

A Figura 7 apresenta as métricas de classe geradas no Fragstats para a RA de Barretos nos anos de 2003 e 2010.

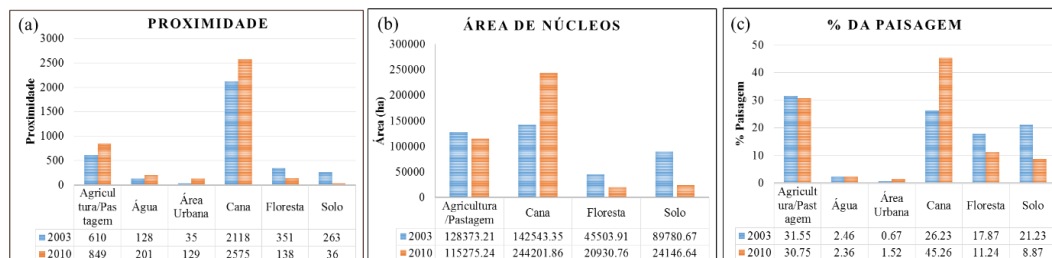


Figura 7. Métricas de classe ((a)proximidade, (b) área de núcleos e (c) porcentagem da paisagem) geradas no Fragstats para a RA de Barretos para os anos de 2003 e 2010.

Com relação à proximidade das manchas, para as classes “Agricultura/Pastagem” e “Cana-de-açúcar” houve aumento nessa métrica, que indica a tendência das manchas encontrarem-se próximas de outras da mesma classe. A métrica de proximidade leva em conta o tamanho e a distância entre as manchas vizinhas, definindo-se um raio de abrangência. Para a classe Floresta a proximidade diminuiu em 2010, o que é coerente com os demais resultados obtidos, indicando que além da diminuição da área dos fragmentos florestais, houve um aumento no isolamento dos mesmos.

A área de núcleo indica a área interna das manchas, descontando-se as bordas. Neste estudo definiu-se a largura de borda de 100m. Assim, temos que o total de área de núcleos da cana-de-açúcar foi o que mais aumentou entre 2003 e 2010, devido à grande expansão da cultura na RA de Barretos, sobre as classes “Agricultura/Pastagem” e “Solo exposto”, que apresentaram redução nessa métrica. A classe Floresta também teve redução na área de núcleos, uma vez que com a redução das manchas, a contribuição das áreas de borda (de largura fixa) também tende a aumentar na área total, reduzindo os núcleos.

A métrica de “porcentagem da paisagem” mostra a proporção de cada classe na paisagem nos dois anos avaliados. Conforme obtido com as outras metodologias apresentadas nesse estudo, a classe Cana-de-açúcar expandiu consideravelmente no período de estudo, representando em 2003 a proporção de 36% da paisagem e em 2010 a proporção de 45%. A porcentagem de floresta na paisagem foi de 17,5% em 2003 para 10,8% em 2010, reforçando a tendência a diminuição dessa classe na área de estudo.

A redução da porcentagem da paisagem para a classe Solo exposto é consequência da classificação, que para o ano de 2003 apresentava maior quantidade de polígonos em condição de solo exposto, de modo que os mesmos podem ser englobados na classe “Agricultura/Pastagem”. Fazendo essa consideração, a proporção da classe “Agricultura/Pastagem” na paisagem foi reduzida também, devido a conversão dessas áreas para cana-de-açúcar.

4. CONCLUSÕES

Foi verificado que a expansão da cana-de-açúcar na RA de Barretos se deu principalmente sobre áreas de outras culturas agrícolas ou pastagem (englobando também as áreas de solo exposto), o que mostra que a dinâmica da expansão da cana-de-açúcar nessa RA segue os padrões observados para as demais regiões canavieiras da região Centro-Sul do Brasil. Entretanto, observou-se que a expansão sobre áreas de floresta no período de 2003 a 2010 foi maior do que é apontado na literatura. É necessário verificar os detalhes da metodologia aplicada neste estudo e “refinar” o processo de classificação, de modo a apurar a validade desses resultados.

A análise no espaço celular permitiu integrar dados de diferentes fontes, possibilitando uma visualização mais objetiva da expansão da cana-de-açúcar na área de estudo. Essa técnica apresenta um grande potencial para aplicação posterior, incluindo mais dados e parâmetros na análise, como áreas mais favoráveis para expansão da cana-de-açúcar, declividade, tipo de solo, etc.

Para a classe Floresta, as métricas de paisagem indicam que houve uma redução na área dos fragmentos e dos núcleos, aumentando, conseqüentemente, o isolamento das manchas dessa classe de cobertura da terra. Com a redução da área de núcleos e aumento do isolamento, se reduz também as condições de manutenção da biodiversidade, que depende dessas áreas.

Agradecimentos

A CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adami, M.; Rudorff, B.F.T.; Freitas, R.M.; Aguiar, D.A.; Sugawara, L.M. Mello, M.P. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. **Sustainability**, v. 4, n. 4, p. 574–585, 2 abr. 2012.

Governo do Estado de São Paulo. **Caracterização socioeconômica de São Paulo**: Região Administrativa de Barretos. Disponível em: < http://www.planejamento.sp.gov.br/noti_anexo/files/uam/trabalhos/Barretos.pdf > Acesso em: 08 Set. 2014.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **TerraView 4.2.2**. São José dos Campos, SP: INPE, 2013.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). **Canasat** - Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. 2013. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>> Acesso em: ago. 2014.

Loarie, S. R.; Lobell, D. B.; Asner, G. P.; Mu, Q.; Field, C. B. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 2, p. 105-109, 2011.

McGarigal, K.; Cushman, S.A; Ene, E. 2012. **FRAGSTATS v4**: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. University of Massachusetts, Amherst. Disponível em: < <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> >. Acesso em: set. 2014.

Ministério da Agricultura, 2015: Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em nov. 2014

Nassar, A.M.; Rudorff, B.F.T.; Antoniazzi, L.B.; Aguiar, D.A.; Bacchi, M.R.P.; Adami, M. **Prospects of the sugarcane expansion in Brazil**: Impacts on direct and indirect land use changes. In Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment, Zurbier, P., van De Vooren, J., Eds.; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2008; pp. 63–92.

Ponzoni, F. J.; Macarringue, L. S.; Santos, S. B.; Santos Junior, J. L. Comparação entre Fatores de reflectância gerados a partir de dados dos sensores TM/Landsat 5 e MODIS/Terra aplicando diferentes metodologias de conversão de dados. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2, n. 66, p. 263-270, 2014.

Quinlan, R. **C4.5**: programs for machine learning. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. 316p.

Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

Secretaria do Meio Ambiente. Mapeamento de cobertura da terra do Estado de São Paulo – 2010 - Escala 1:100.000 – Coordenadoria de Planejamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-cobertura-da-terra-do-estado-de-sao-paulo/> >. Acesso em: 25 jul. 2014.

UNICA – União das Indústrias de Cana-de-açúcar, 2014. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 5 ago. 2014.