



ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR CONFRONTADA COM O ZONEAMENTO AGROAMBIENTAL UTILIZANDO ANÁLISE SUPERVISIONADA DE IMAGEM

Thiago Santos Teófilo¹, Célia Regina Lopes Zimback² & Zacarias Xavier De Barros³

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar tem significativa importância econômica no estado de São Paulo. Apesar do Estado ser o maior produtor de cana-de-açúcar do país, está ocorrendo um aumento das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, que incorporam áreas cultivadas por outras lavouras. Entretanto, a expansão desordenada das áreas cultivadas com cana-de-açúcar pode acarretar diversos problemas ambientais. Nesse sentido visando ordenar a ocupação do solo e orientar o licenciamento ambiental foi elaborado o Mapa de Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro paulista, regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 04/2008 e foi alterada pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06/2009. Com o uso de imagens de satélite em conjunto com Sistema de Informação Geográfica (SIG) informações precisas sobre a cultura podem ser obtidas com maior rapidez, o que pode ser um grande diferencial na elaboração de estratégias de manejo, armazenamento, comercialização, no suporte de decisões governamentais e para fiscalização das áreas com cana-de-açúcar pelos órgãos ambientais. Neste trabalho foi analisado o conflito das áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar e o Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo, utilizando análise supervisionada de imagens. A área de estudo foi o município de São Manuel/SP. O SIG – Idrisi 17 (Selva) foi utilizado para o processamento da imagem do satélite Landsat – 5, sensor TM, órbita/ponto 220/76, com passagem em 15.06.2011. O trabalho tem por objetivo verificar se o cultivo da cultura da cana-de-açúcar está de acordo com o que foi regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06/2009. No trabalho foi constatado que a área cultivada com cana-de-açúcar em áreas adequadas foi de 20.001,71 ha, em áreas adequadas com limitações ambientais foi de 2.783,23 ha, em áreas adequadas com restrições ambientais foi de 10.597,20 ha e em área inadequadas foi de 476,00 ha.

Palavras-chaves: Cana-de-açúcar, landsat, sensoriamento remoto.

SUGARCANE CONFRONTED WITH AGRO-ENVIRONMENTAL ZONES USING IMAGE SUPERVISED ANALYSES

ABSTRACT: The cultivation of sugarcane is of economical significant importance in Sao Paulo state. Despite that the state is the sugarcane leading producer in Brazil, the areas cultivated with sugarcane are still increasing, incorporating areas cultivated with other crops. However, the disorderly expansion of areas cultivated with sugarcane may lead to several environmental problems. The Agro-environmental Zoning Map of sugarcane in São Paulo was elaborated to serve as a guide to land management, sugarcane storage and marketing, to support government decisions and to assist the inspection by environmental agencies. It was regulated by the Resolution SMA/SAA nº04/2008 and amended by Resolution SMA/SAA nº 06/2009. Accurate information about the sugarcane area can be quickly obtained with the use of satellite imagery associated with Geographic Information System (GIS). The conflict between sugarcane areas and sugarcane agro-environmental zoning in Sao Paulo was analyzed in this study, using image supervised classification. The study area is located in the city of Sao Manuel, central-western of Sao Paulo state. The GIS - Idrisi 17 (Selva) - was used for processing the images from Landsat - 5 TM satellite, (path-row:220/76), acquired in 15th of July, 2011. The aim of this study was to verify if the cultivation of the sugarcane is occurring in accordance with what has been regulated by the Resolution SMA/SAA nº06/2009. In this study, it was observed that the area cultivated with sugarcane in appropriate areas was 20.001,71 ha, in appropriate areas with environmental limitations was 2.783,23 ha, in appropriate areas with environmental restrictions was 10.597,20 ha and in inadequate areas was 476,00 ha.

KEYWORDS: Sugarcane, landsat, remote sensing.

¹ CETESB, Atibaia/SP, thiago_tefilo@hotmail.com

² Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, FCA/UNESP, Botucatu/SP, czimback@gmail.com

³ Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu/SP, zacariasxb@fca.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) é uma gramínea que possui grande importância econômica para o Brasil, uma vez que o país é o maior produtor no complexo sucroalcooleiro. A estimativa de área colhida na safra 2012/13 é de 8.520,5 mil hectares, um incremento de 2,0% em relação à safra 2011/12 (CONAB, 2013).

De acordo com Araldi (2010), em função da necessidade mundial do uso de fontes renováveis de energia e de matérias primas a indústria sucroalcooleira tem tendência de grande crescimento nos próximos anos.

São Paulo destaca-se como maior estado produtor. A estimativa de produção na safra 2012/13 é de 55,48% da produção brasileira (CONAB, 2013). Portanto, um dos principais setores do agronegócio paulista é a cadeia de produção de cana-de-açúcar, a qual incorporou área de outras lavouras e, principalmente, de pastagens (CAMARGO et al., 2008).

Entretanto, essa expansão da cana-de-açúcar pode acarretar diversos problemas ambientais, tais como: compactação do solo, erosão, deterioração dos recursos hídricos, destruição de matas ciliares, contaminação de solo e água por fertilizantes, problemas relacionados às queimadas, caso a expansão ocorra de maneira desordenada e sem nenhum controle dos órgãos ambientais federais, estaduais e municipais.

Nesse sentido, foi elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente em parceria com a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro paulista, que foi regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 04, de 18 de dezembro de 2008 (alterada pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06, de 25 de setembro de 2009) que visa ordenar a ocupação do solo além de subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas para as questões relacionadas ao setor (SÃO PAULO, 2013).

Segundo Jordão (2011), ainda que o zoneamento não tenha a competência de proibir a existência da atividade em determinados lugares ou de permitir em outros, ele contribui para que a localização de novos empreendimentos e cultivos da cultura ocorram preferencialmente em locais com aptidão agrícola e sem restrições do ponto de vista ambiental.

Portanto é esperado que os empreendimentos canavieiros (usinas e suas áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar) localizem-se preferencialmente nas áreas indicadas como adequadas e na impossibilidade nas áreas adequadas com limitações e com restrições, desde que obedeçam as devidas medidas técnicas de minimização dos impactos, as quais são determinadas no licenciamento ambiental (Jordão, 2011).

Pelo fato das áreas cultivadas com cana-de-açúcar tenderem a ser cada vez maiores e em maior quantidade (CONAB, 2013), é necessária a utilização de técnicas que disponibilizem informações precisas sobre a cultura com maior rapidez, pois o momento de obtenção dessas informações pode ser o diferencial na elaboração de estratégias de manejo, armazenamento, comercialização, no suporte de decisões governamentais e para fiscalização dos órgãos ambientais.

Dessa maneira, o uso de imagens de satélites aliadas aos sistemas de informação geográfica (SIG) são fundamentais, pois permitem que grandes quantidades de dados georreferenciados sejam analisados constantemente, possibilitando a aquisição de informações para o mapeamento do uso do solo em um menor tempo. O que possibilita maior eficácia no planejamento regional das terras.

Apesar do benefício proporcionado pelo uso dessa tecnologia, muitas vezes o analista que opera o SIG tem limitado conhecimento sobre a área de estudo, o que faz com que os resultados registrados por ele sejam bastante subjetivos ou ainda que a identificação dos objetos representados na superfície demande grande quantidade de esforço e tempo.

Dessa forma, o processo de classificação de imagens é de grande importância na extração de informações de imagens de Sensoriamento Remoto, pois, ele permite o mapeamento de áreas da superfície terrestre, através do reconhecimento de padrões espectrais. Existem diversos métodos de classificação de imagens, que diferem pela presença ou não de uma fase de treinamento onde o analista interage com o computador.

A classificação supervisionada é o procedimento utilizado com maior frequência para análise quantitativa de dados de imagens de sensoriamento remoto. Neste processo são utilizados algoritmos para nomear os *pixels* em uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre, ou classes que são conhecidas *a priori* (LILLESAND & KIEFER, 1994).

A proposta deste trabalho foi verificar se a área cultivada com cana-de-açúcar está de acordo com o que foi regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06/2009, por meio da sobreposição dos mapas de Zoneamento Agroambiental e do mapa de ocupação do solo pela cultura da cana-de-açúcar, utilizando análise supervisionada de imagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

A área de estudo desta pesquisa foi o município de São Manuel, que está localizado na região Centro Oeste do Estado de São Paulo (Figura 1), situado entre os paralelos de 22°31'07" e 22°51'20" de latitude Sul e entre os meridianos 48°21'22" e 48°44'40" de longitude Oeste de Greenwich, em uma altitude de aproximadamente 700 metros. O município possui uma área de aproximadamente 65.100 ha.

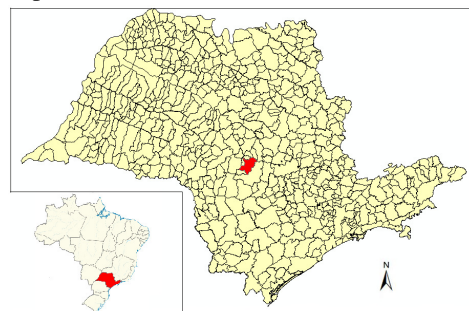


Figura 1 - Mapa de localização do município de São Manuel.

De acordo com Oliveira et al. (1999), são encontrados no município os seguintes solos: NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distroféricos. O clima da região conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa: tropical de altitude, com chuvas predominantes no verão, temperatura média anual de 20,8° C e precipitação média de 1.464,8 mm anual (CEPAGRI, 2012).

O município foi escolhido por possuir a 22ª maior área cultivada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo (CANASAT, 2012).

Foram utilizadas cartas planialtimétricas digitalizadas (São Manuel, quadrícula SF – 22 – Z – B – V – 2; Botucatu, quadrícula SF – 22 – R – IV – 3; Pratânia, quadrícula SF – 22 – Z – B – V – 4; Rio Palmital, quadrícula SF – 22 – Z – B – V – 3) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em escala de 1:50.000, datadas de 1973, para extração do limite do município de São Manuel.

Foi utilizada imagem do satélite LANDSAT-5 TM, correspondente a órbita 220, ponto 76, em composição falsa cor RGB 543, obtida gratuitamente na página de catálogo de imagens do INPE (INPE, 2012), referente à data de passagem do dia 15/06/2011.

Para o processamento da imagem foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi 17.0 Selva Edition (EASTMAN, 2006).

2.2 METODOLOGIA

Para o mapeamento da área de estudo as cartas planialtimétricas do IBGE digitalizadas foram vetorizadas, onde foi extraído o limite do município.

Para o processamento das imagens foi utilizada a metodologia baseada na descrição de Eastman (2006). Esta fase do trabalho é importante, pois melhora a qualidade dos dados da imagem, com o emprego de algumas técnicas, como: correção geométrica (registro), realce da imagem; e redimensionamento da imagem (restringindo apenas a área de estudo, por meio do limite do município obtido com a vetorização das cartas planialtimétricas).

A correção geométrica (registro) foi executada para corrigir os erros contidos na imagem devido à movimentação do satélite e curvatura da Terra (projeção e sistema de referência). Neste processo foram utilizadas coordenadas geográficas dos pontos de controle de uma imagem previamente registrada, na qual pontos devidamente identificados (georreferenciados) foram associados aos *pixels* da imagem de interesse.

Por corresponderem às regiões do espectro eletromagnético que melhor representam alvos agrícolas foram selecionadas para realização da classificação as bandas TM3, TM4 e TM5.

A escolha do método de classificação MAXVER levou em consideração que neste trabalho foram utilizadas

imagens de média resolução espacial, situação na qual geralmente aplica-se este método de classificação.

Foram discriminadas inicialmente, oito classes de uso do solo nas imagens recortadas: cana-de-açúcar, hidrografia, cidade, reflorestamento, pastagem, café, solo exposto e floresta nativa. Dessa forma, foram digitalizados polígonos em torno destas áreas, atribuindo um identificador para cada tipo de cobertura.

Segundo Eastman (2006), é recomendado que o número de pixels de cada conjunto de treinamento (todas as áreas de treinamento para uma mesma classe de cobertura do solo) não deve ser menor do que dez vezes o número de bandas classificadas, portanto as classes foram definidas com número mínimo de 30 pixels para cada classe de treinamento.

Depois de definidas as áreas de treinamento, os pixels nelas contidos foram analisados e assinaturas espectrais foram criadas para cada objeto. Então, foi executado o classificador, onde todos os pixels foram classificados com igual probabilidade para cada classe de uso.

Então foram identificadas as classes espectrais referentes à classe de uso cana-de-açúcar, estas foram agrupadas e as demais classes foram desconsideradas, o que resultou em uma imagem binária (cana-de-açúcar e não cana-de-açúcar);

Para avaliação do resultado gerado na classificação foi gerado um arquivo com amostras de treinamento (pontos de campo), utilizado como referência, elaborado a partir da interpretação em tela das imagens de 25/07/2010 do município obtidas no Google Earth. Em seguida, criou-se um arquivo de valores relacionando os pontos amostrais à verdade.

O arquivo de valores foi então exportado e criou-se uma imagem *raster* dos pontos amostrais com a verdade terrestre (para associar os usos do solo corretos aos pontos de campo), então foi criada uma imagem zero com os parâmetros da imagem resultante da classificação MAXVER, por fim a imagem *raster* supracitada foi vetorizada.

Então foi obtido o índice Kappa, por meio do confronto da imagem classificada com os pontos de campo.

O índice Kappa, método mais indicado e conhecido para aferição das classificações temáticas (MOREIRA, 2005), considera todos os elementos da matriz de confusão, ao invés de somente utilizar os elementos da diagonal, como ocorre com a maioria dos índices. O caso ideal ocorre quando o resultado do índice *k* aproxima-se de 1, como pode ser observado na Tabela 1.

O mapa de Zoneamento Agroambiental do Setor Sucrialcooleiro do Estado de São Paulo, disponível gratuitamente em formato shp (shapefile) no site do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas foi redimensionado para a obtenção do Mapa de Zoneamento Agroambiental do Setor Sucrialcooleiro do município de São Manuel, para isso foi utilizado o mapa do limite do município de São Manuel (elaborado a partir da vetorização das cartas digitalizadas do IBGE).

Para obtenção do mapa de conflito entre o Zoneamento Agroambiental e das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no município de São Manuel (onde é possível fazer a verificação da quantidade de cana-de-açúcar do município que se encontra em área adequada, em área adequada com restrição ambiental, em área adequada com limitação ambiental e em área inadequada para o plantio de cana-de-açúcar, segundo o Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo) foi feita a sobreposição do mapa de Zoneamento Agroambiental redimensionado e do mapa de ocupação do solo pela cultura da cana-de-açúcar redimensionado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bandas (TM 3, TM 4 e TM 5) da imagem do Satélite LANDSAT- 5, do sensor TM, foram submetidas às técnicas de correção geométrica, de realce e de redimensionamento. Após estas fases, foi elaborada a composição colorida (falsa-cor 543) das bandas citadas.

Na Figura 2, pode ser observado que a imagem resultante das etapas supracitadas não apresentou problemas com distorções ou com influências atmosféricas.

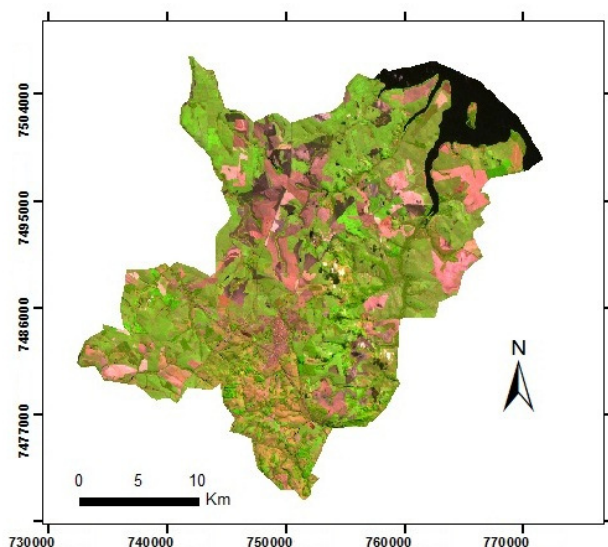


Figura 2 - Recorte (delimitando o município de São Manuel) da imagem LANDSAT-5 TM em composição colorida RGB 543, de 15/06/2011.

Por meio do mapa de ocupação do solo com cana-de-açúcar (Figura 3) obtido por meio de classificação MAXVER foi verificado que a área cultivada com a cultura no município de São Manuel foi de 33.858,14 ha, o que representa 52,33% da área do município.

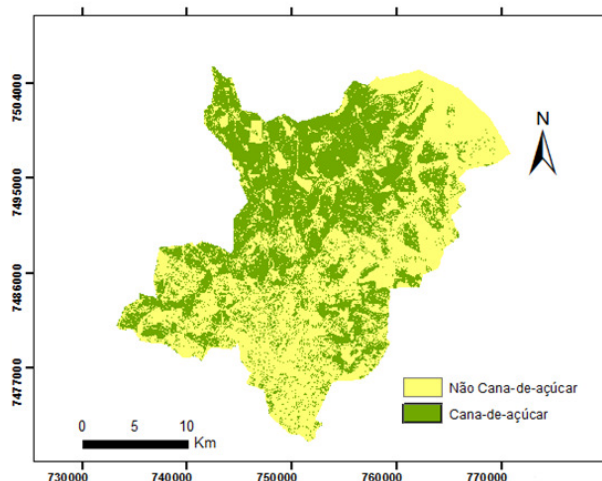


Figura 3 - Mapa das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no município de São Manuel.

A avaliação da classificação supervisionada (MAXVER) foi realizada por meio do confronto com amostras de treinamento.

O índice Kappa obtido para esta classificação foi de 0,7878, o qual pode ser considerado muito bom, segundo a Tabela de Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa (Tabela 1).

Tabela 1 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito Boa
0,80 - 1,0	Excelente

Fonte: Adaptada de Landis & Koch, 1977 citado por MOREIRA (2005).

No Mapa de Zoneamento Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro do município de São Manuel (Figura 4), podem ser verificadas as áreas adequadas e inadequadas para o cultivo de cana-de-açúcar no município.

Pode ser constatado que as áreas inadequadas para o cultivo de cana-de-açúcar no município ocorreram principalmente por causa das restrições a mecanização do cultivo da área, por estas áreas apresentarem declividade superior a 20%, por estarem localizadas na região da Cuesta.

As áreas adequadas com restrição no município não apresentam limitação edafoclimática, entretanto parte das mesmas encontram-se em áreas de amortecimento da APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá e o restante das áreas são de recarga de aquíferos e de biodiversidade.

As áreas adequadas com limitação no município possuem ligeiras restrições climáticas e apresentam aspectos de síntese de biodiversidade e de aquíferos.

A maior parte das áreas adequadas do município não possuem qualquer tipo de limitação edafoclimática ou ambiental, o restante destas áreas apesar de não possuir nenhuma restrição edafoclimática apresentam ligeiras limitações de clima durante a estação de repouso da cultura, que podem atrasar a maturação da cana-de-açúcar.

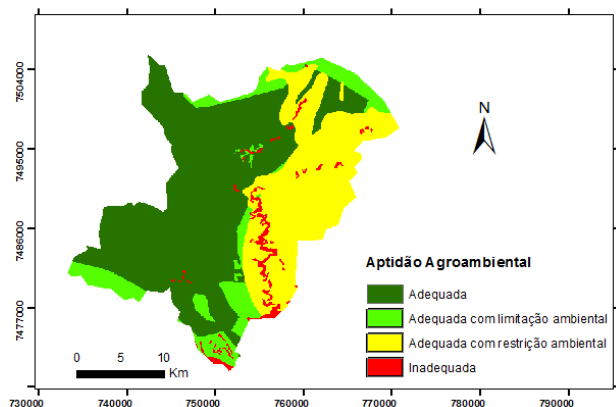


Figura 4 - Mapa de Zoneamento Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro do município de São Manuel, obtido com dados extraídos do mapa ZAA do Estado de São Paulo.

Pode ser verificada, na Figura 5, a localização das áreas com cana-de-açúcar no município de São Manuel em 2011, em relação ao Zoneamento Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Foi observado que a área cultivada com cana-de-açúcar era de 33.858,14 ha e a área restante do município (30.833,41 ha) estava com um uso diferente do solo.

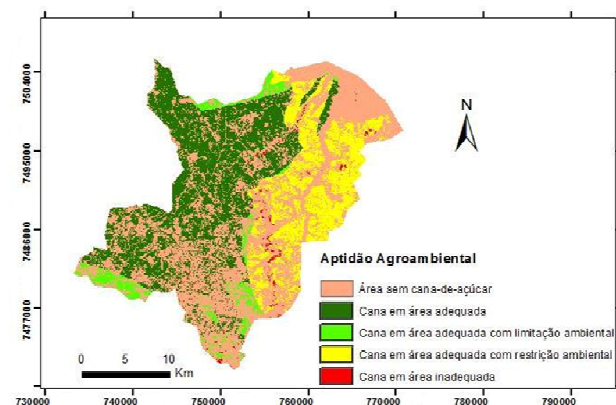


Figura 5 - Mapa das áreas cultivadas com cana-de-açúcar em relação ao Zoneamento Agroambiental.

Da área cultivada com cana-de-açúcar, em 20.001,71 ha a cultura estava localizada em área adequada para o cultivo, em 2.783,23 ha a cultura estava em área adequada com limitação ambiental, em 10.597,20 ha a cultura estava em área adequada com restrição ambiental

e em 476,00 ha a cultura estava em área inadequada para o cultivo.

Apesar de terem sido criadas em 2008 Resoluções específicas determinando as áreas adequadas e inadequadas para o cultivo da cana-de-açúcar, foi constatado o cultivo de cana-de-açúcar em áreas inadequadas (1,4% da área cultivada com cana-de-açúcar do município).

Embora esse cultivo seja pequeno, o mesmo é muito preocupante, pois estas áreas são destinadas a proteção e conservação da qualidade ambiental e dos sistemas naturais existentes, proteção dos ecossistemas regionais e da biodiversidade, dessa forma a ocupação destas áreas pode provocar diversos impactos ambientais.

Entretanto, a expansão desordenada das áreas cultivadas com cana-de-açúcar pode acarretar diversos problemas ambientais. Nesse sentido visando ordenar a ocupação do solo e orientar o licenciamento ambiental foi elaborado o Mapa de Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro paulista, regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 04/2008 e foi alterada pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06/2009.

4 CONCLUSÃO

O método utilizado mostrou-se adequado para a discriminação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

O uso de imagens de satélite em conjunto com SIG permitiu a obtenção de informações precisas e com rapidez sobre a expansão da cultura, que podem ser utilizadas pelos órgãos ambientais para o efetivo cumprimento da legislação ambiental estadual e para a produção sustentável da cana-de-açúcar que respeite os recursos naturais.

A área cultivada com cana-de-açúcar não está de acordo com o que foi regulamentado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06/2009, visto que, foi constatado o cultivo de cana-de-açúcar em áreas inadequadas.

5 REFERÊNCIAS

- ARALDI, R. **Avaliação da absorção do Amicarbazone e intoxicação em cana-de-açúcar e plantas daninhas.** 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- CAMARGO, A. M. P.; CASER, D. V.; CAMARGO, F. P.; OLIVETTE, M. P. A.; SACHS, R. C. C.; TORQUATO, S. A. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 47-61, 2008.
- CANASAT. **Monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite:** via imagens de satélite. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>>. Acesso em: 18 out. 2012.
- CEPAGRI. Unicamp. **Clima dos municípios paulistas.** Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 25 jun. 2012.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar safra 2012/2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

EASTMAN, J. R. **Idrisi 15:** The Andes Edition. Worcester: Clark University, 2006.

INPE. **Catálogo de imagens.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 jan. 2012.

JORDÃO, C. O. **Análise da vulnerabilidade ambiental no planejamento espacial do cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.** 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 3. ed. New York: John Wiley, 1994. 1040 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3.ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERAN FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 64 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Etanol Verde. **Zoneamento agroambiental do estado de São Paulo para o setor sucroalcooleiro.** Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental>>. Acesso em: 15 jan. 2013.