

Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto

Daniel Alves de Aguiar¹
Marcos Adami¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Luciana Miura Sugawara¹
Ramon Morais de Freitas¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{daniel, bernardo, adami, lmiura, ramon}@dsr.inpe.br

Abstract. Sugarcane crop cultivation has been largely expanded during the last few years in Brazil in order to meet the increasing ethanol production demand. The sustainable ethanol production is directly linked to an important land use cover change issue. Therefore, it is relevant to know the land use cover prior to the sugarcane cultivation. In this context, the present work has the objective to use remote sensing images to evaluate the direct land use cover change to sugarcane in the South-Central region of Brazil, during the crop years of 2007/08 and 2008/09. Five land use classes were defined and identified through visual image interpretation on the computer screen. For the crop year 2006/07 the greatest sugarcane expansion occurred in São Paulo and Minas Gerais states (636.8 and 120.3 thousand ha, respectively) with most changes observed over the pasture class (50.4%) in São Paulo State and over the agriculture class (78.0%) in Minas Gerais State. From the crop year 2008/09 the greatest sugarcane expansion occurred in São Paulo (661.9 thousand ha) and Goiás (143.1 thousand ha). Over the two analyzed years a total of 991.0 thousand ha of pasture and 1.15 million ha of agricultural crops were changed to sugarcane in the South-Central region of Brazil. From this work it can be concluded that the systematic acquired remote sensing images by the Landsat and CBERS satellites allowed identify the land use classes directly changed to sugarcane during the recent and fast sugarcane cultivation expansion.

Palavras-chave: Mudança de uso e ocupação do solo, cana-de-açúcar, agricultura, pastagem, Canasat; land use and land cover change; sugarcane; agriculture; pasture; Canasat.

1. Introdução

O interesse global pelos combustíveis de fontes renováveis tem crescido expressivamente em resposta aos atuais níveis das reservas mundiais de petróleo e aos cenários climáticos futuros. Diversos países adotaram metas de uso, em diferentes níveis, de etanol misturado aos combustíveis fósseis, aumentando a demanda pelo cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e do milho nos Estados Unidos (Kutas e Zechin, 2008). Neste sentido, questões sobre a capacidade da produção de etanol influenciar a segurança alimentar da população mundial ganham ênfase na sociedade atual (Souza e Zechin, 2008).

No período de 2005 a 2008, a área de cana-de-açúcar no Brasil expandiu em 44,2%, aumentando de 6,1 para 8,7 milhões ha. Atualmente, os principais estados produtores de cana-de-açúcar e com expressiva expansão da área de cultivo na região Centro-sul do Brasil são: São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os estados supracitados cultivam atualmente 7,2 milhões ha (81,8% da área de cana-de-açúcar no Brasil) e são responsáveis por 94,2% (2,5 milhões ha) da expansão observada entre 2005 e 2008 no Brasil (IBGE, 2008). Neste mesmo período, o Estado de São Paulo aumentou a área de cana-de-açúcar em 44,9%, o que corresponde a um aumento de 1,5 milhões ha, e tem atualmente 55,7% da área de cana-de-açúcar cultivada no Brasil (Canasat, 2008).

Em 2003 o INPE deu início ao projeto Canasat, em conjunto com a União da Agroindústria da Cana-de-Açúcar (UNICA), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil por meio de imagens de sensores orbitais. Inicialmente foi realizado o mapeamento das áreas de cultivo desta cultura no Estado de São Paulo, para os anos safra 2003/04 e 2004/05 (Rudorff et al., 2005). A partir da safra 2005/06 este mapeamento foi estendido para os Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná (Rudorff e Sugawara, 2007) e disponibilizados no site <www.dsr.inpe.br/canasat>.

Este projeto tornou possível identificar novas áreas cultivadas com cana-de-açúcar em cada um dos anos safra, tais áreas foram classificadas como *expansão* e em associação com imagens de sensores orbitais do passado possibilitam identificar o uso e ocupação do solo anterior ao cultivo da cana-de-açúcar. Tal avaliação é primordial para elaboração de planos estratégicos de produção de alimentos e de atendimento da demanda global por etanol, bem como verificar a sustentabilidade ambiental do uso do etanol (Nassar et al., 2008). Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar por meio de imagens dos sensores TM/Landsat e CCD/CBERS, nos principais estados produtores de cana-de-açúcar da região Centro-Sul, nos anos safra 2007/08 e 2008/09.

2. Metodologia de Trabalho

Para realizar o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo anterior ao cultivo da cana-de-açúcar, inicialmente foram extraídas todas as áreas referentes à classe temática *Cana expansão*, obtidas dos mapas temáticos do projeto Canasat (Rudorff et al., 2005; Rudorff e Sugawara, 2007) dos anos safra 2007/08 e 2008/09. Para todas as áreas mapeadas como expansão foram obtidas no mínimo duas cenas de datas diferentes, uma da época chuvosa e outra da época seca. Estas cenas foram adquiridas antes do preparo do solo/plantio da cana-de-açúcar, referentes ao ano de 2003 para o Estado de São Paulo e ao ano de 2005 para os demais Estados. Este mapeamento foi realizado por meio de interpretação visual de imagens, por fotointérpretes treinados para tal finalidade.

Quatro classes de uso e ocupação do solo foram definidas para a realização da interpretação visual: *Agricultura*, na qual foram incluídas as áreas cultivadas e preparadas para o cultivo; *Pasto*, na qual foram incluídas as áreas de pastagem antrópica e natural; *Reflorestamento*, para as áreas de reflorestamento com *pinus* e *eucalyptus* e; *Floresta*, para as áreas de mata ciliares e florestas, independente do estágio de sucessão. No Estado de São Paulo ainda foi adicionada a classe *Citrus*, que compreende as áreas cultivadas com laranjas, tangerinas e limas.

A Figura 1 ilustra um exemplo para cada uma das cinco classes de uso e ocupação do solo em imagens obtidas pelo sensor TM. A Figura 1a apresenta, em destaque, uma área classificada como *Agricultura*. Por ocasião da data 1 (março de 2003) ela está com aparência de solo exposto (lilás/roxo) e na data 2 (maio de 2003) observa-se a presença de uma cultura de inverno, provavelmente milho safrinha. Em abril de 2008 (data 3) a cultura da cana-de-açúcar é identificada na imagem em uma fase de crescimento avançada e se diferencia das outras culturas agrícolas, entre outros fatores, pela presença dos carregadores nos talhões.

A classe *Pastagem* está exemplificada na Figura 1b. Nas datas 1 e 2 ela aparece na imagem como uma mistura entre a vegetação e o solo (verde/lilás), sendo que na data 1 a vegetação exerce maior influência que o solo e na data 2 o solo se sobressai em função da diminuição da água disponível no solo. A cana-de-açúcar é identificada na data 3, evidenciando a substituição do pasto pela cana-de-açúcar. A Figura 1c ilustra a classe *Citrus*, que apresenta o mesmo padrão

tanto na data 1 como na data 2. As áreas de cultivo de citrus se caracterizam pela divisão dos talhões em quadrados e diferem das áreas de cana-de-açúcar na imagem (data 3) pela textura mais rugosa e tom de verde mais escuro. A Figura 1d apresenta a classe *Floresta* idêntica nas datas 1 e 2, em que a textura mais rugosa do dossel é o principal fator para identificação. Na data 3 é substituída por cana-de-açúcar. A classe *Reflorestamento* é ilustrada na Figura 1e. As áreas de reflorestamento são facilmente identificadas nas imagens de sensoriamento remoto tanto pela textura lisa quanto pela tonalidade de verde características, bem como pela presença de sombra no limite externo dos talhões em decorrência da altura das espécies utilizadas em reflorestamento. A área em destaque não apresenta diferenças significativas entre as datas 1 e 2. Na data 3 é possível identificar a conversão do reflorestamento para cana-de-açúcar.

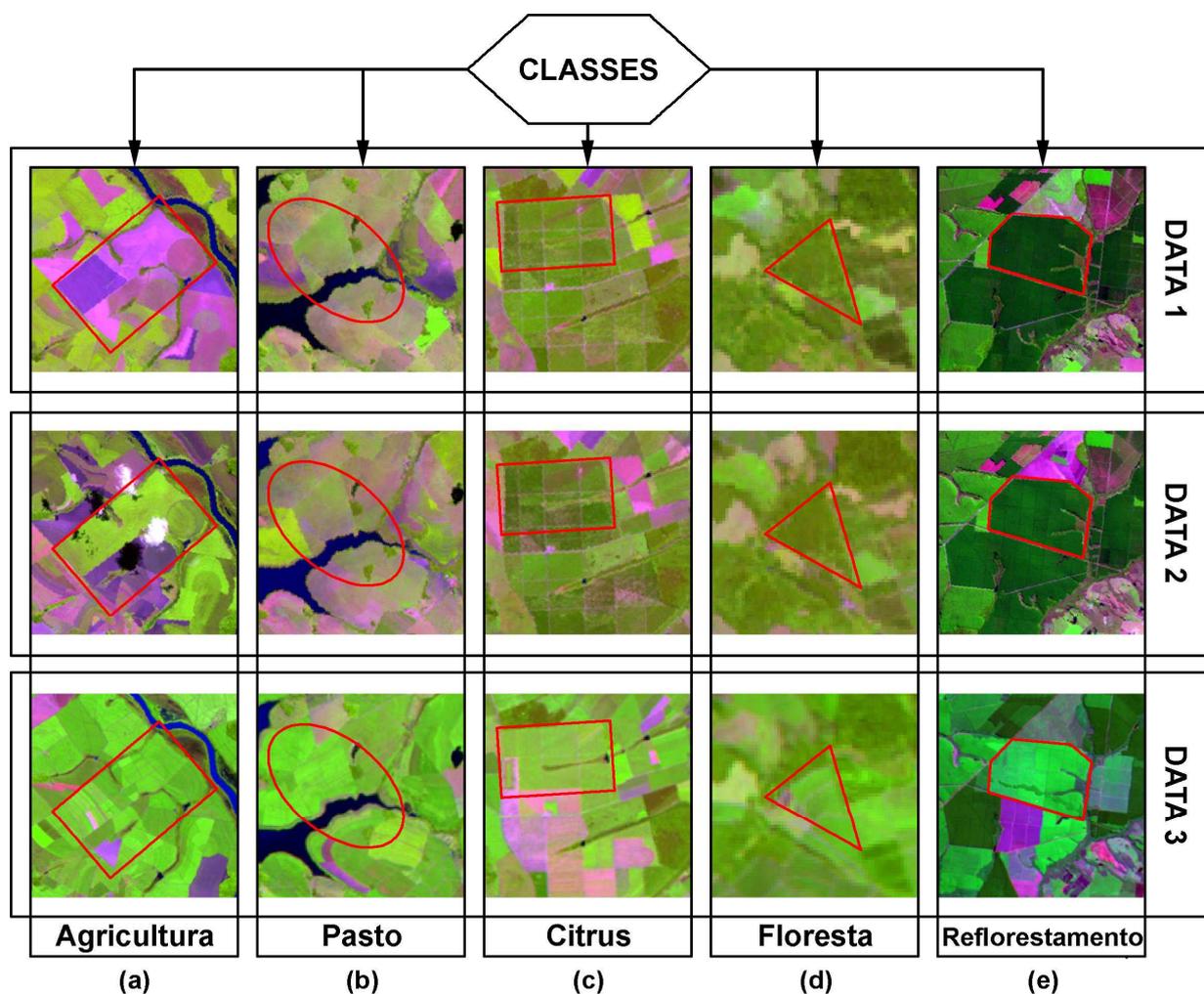


Figura 1. Classes de uso da terra, em composição colorida (banda 3 – azul, banda 4 – verde e banda 5 – vermelho) de imagens adquiridas por meio do satélite Landsat em março de 2003 (data 1), maio de 2003 (data 2) e abril de 2008 (data 3).

A interpretação visual das imagens foi realizada no aplicativo SPRING, que permite acoplar diversas imagens propiciando a visualização alternada de uma mesma área em imagens adquiridas pelo sensor em diferentes datas. Ou seja, a dinâmica da mudança do uso e ocupação do solo está registrada nas imagens e o aplicativo facilita a extração da informação correta pelo intérprete. Cabe salientar que a Figura 1 exemplifica o procedimento de fotointerpretação das classes que cederam área para a cana-de-açúcar de forma simplificada. Sempre que possível foi utilizado um número maior de imagens para classificar corretamente as classes analisadas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise para o estado de São Paulo: safras 2007/08 e 2008/09

A Tabela 1 apresenta os resultados para as classes de *Pasto*, *Agricultura*, *Reflorestamento*, *Floresta* e *Citrus* que cederam área para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar em São Paulo, nos anos safra 2007/08 e 2008/09. No período analisado houve uma expansão de cerca de 1,3 milhões ha, dos quais 97,4% foram sobre as classes *Pasto* (53,3%) e *Agricultura* (44,1%). A classe *Citrus* cedeu cerca de 2,2% e as classes *Reflorestamento* e *Floresta* juntas cederam 0,2% no período avaliado.

Tabela 1. Área em hectares da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar em São Paulo nas safras de 2007/08 a 2008/09.

| SAFRA | Cana Expansão | Pasto | Agricultura | Reflorestamento | Floresta | Citrus |
|---------|------------------|---------|-------------|-----------------|----------|--------|
| 2007/08 | 636.814 | 321.119 | 304.625 | 1.027 | 1.046 | 8.997 |
| 2008/09 | 661.969 | 371.262 | 268.633 | 876 | 1.281 | 19.919 |
| Total | 1.298.783 | 692.381 | 573.258 | 1.903 | 2.327 | 28.916 |

A Figura 2 ilustra o uso e a ocupação do solo anterior à expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Nota-se que a expansão da cana-de-açúcar no Oeste do Estado ocorreu majoritariamente sobre áreas de pastagem, enquanto que no Centro-norte do Estado e na divisa com o Estado de Paraná ocorreu sobre áreas de outras culturas agrícolas. As áreas plantadas com citrus cederam suas áreas para a cana-de-açúcar principalmente na Região Administrativa de Barretos, no norte do Estado.

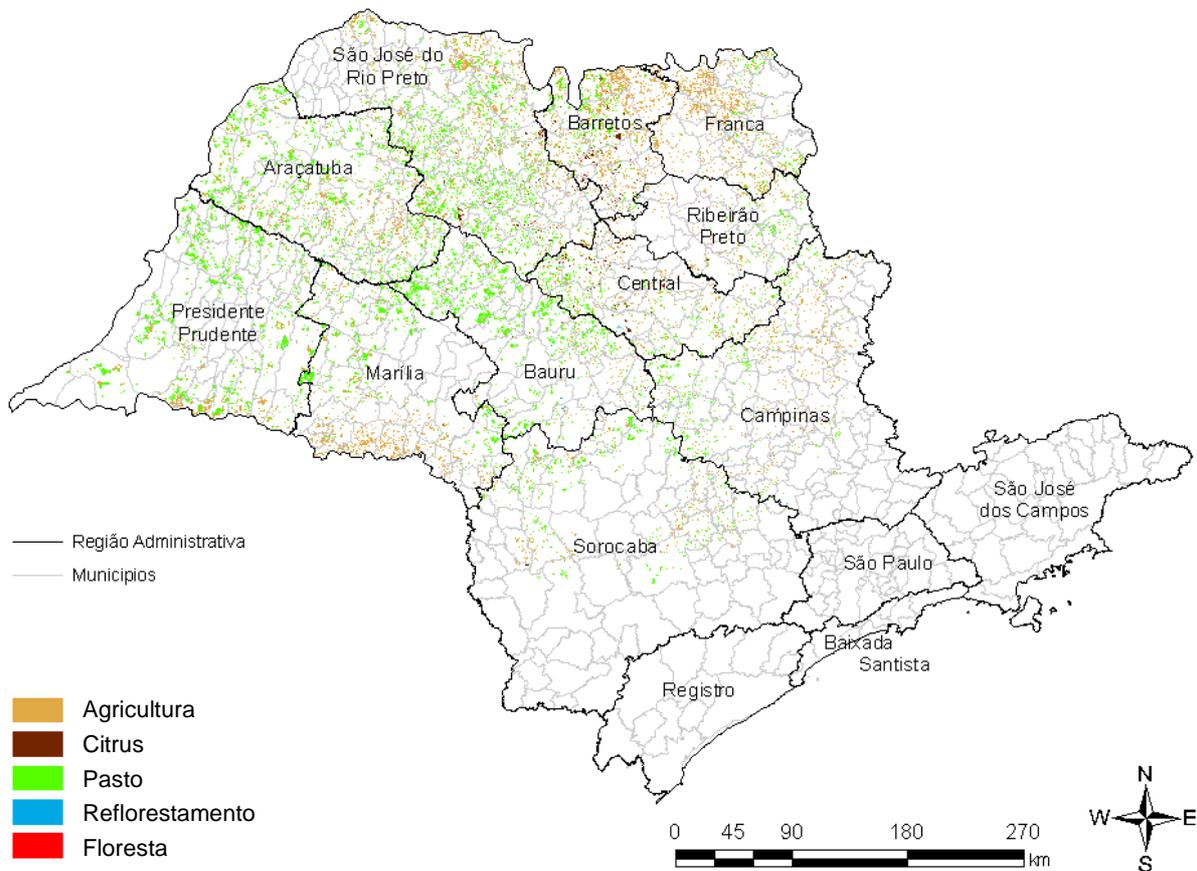


Figura 2. Mapeamento das classes de uso e ocupação do solo anterior à expansão da cana-de-açúcar nos anos safra 2007/08 e 2008/09, no Estado de São Paulo.

3.2 Análise para os estados de: Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso nas safras 2007/08 e 2008/09

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados para as classes de *Pasto*, *Agricultura*, *Reflorestamento* e *Floresta* que cederam área para expansão do cultivo da cana-de-açúcar nos anos safra 2007/08 e 2008/09, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. As classes *Agricultura* e *Pasto* cederam 99,0% da área de expansão da cana-de-açúcar nos estados analisados, sendo que a classe *Agricultura* predomina na área cedida para a cana-de-açúcar. Exceto para o Estado de Mato Grosso do Sul na safra 2008/09, quando a classe *Pasto* cedeu 55,4% e a classe *Agricultura* cedeu 44,5%. A classe *Agricultura* diminuiu a sua contribuição de área cedida para expansão da cana-de-açúcar de 69,3% em 2007/08 para 62,2% em 2008/09. Por outro lado, a classe *Pasto* aumentou a sua contribuição de 29,4% em 2007/08 para 37,0% em 2008/09, sugerindo uma tendência de aumento da expansão de cana-de-açúcar em áreas de pastagem.

Nos estados de Minas Gerais, Goiás e Paraná mais de 99% da expansão da cana-de-açúcar ocorreu nas classes *Pasto* e *Agricultura*. No Estado de Mato Grosso do Sul a classe *Floresta* cedeu 2,4% de sua área para a cana-de-açúcar no ano safra 2007/08, enquanto que no ano safra seguinte, a contribuição desta classe foi desprezível (61 ha). Já no Estado do Mato Grosso a

classe *Floresta* cedeu 7,4 e 7,8% da área para a expansão da cana-de-açúcar em 2007/08 e 2008/09, respectivamente.

Tabela 2. Área em hectares da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná, safra 2007/08.

| UF | Cana Expansão | Pasto | Agricultura | Reflorestamento | Floresta |
|-------|---------------|---------|-------------|-----------------|----------|
| GO | 85.559 | 25.703 | 59.442 | 28 | 387 |
| MG | 120.306 | 25.656 | 93.883 | 28 | 739 |
| MS | 46.446 | 18.395 | 26.823 | 109 | 1.119 |
| MT | 25.524 | 8.440 | 15.134 | 58 | 1.892 |
| PR | 107.350 | 35.039 | 71.883 | 21 | 407 |
| Total | 385.185 | 113.211 | 267.185 | 244 | 4.546 |

Tabela 3. Área em hectares da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná, safra 2007/08.

| UF | Cana Expansão | Pasto | Agricultura | Reflorestamento | Floresta |
|-------|---------------|---------|-------------|-----------------|----------|
| MG | 141.190 | 48.284 | 91.959 | 70 | 876 |
| GO | 143.155 | 34.514 | 108.072 | 20 | 549 |
| PR | 97.719 | 42.336 | 55.159 | 13 | 211 |
| MS | 87.434 | 48.465 | 38.908 | 0 | 61 |
| MT | 30.735 | 10.555 | 17.761 | 35 | 2.385 |
| Total | 500.233 | 185.441 | 311.188 | 130 | 3.473 |

3.3 Análise para a região Centro-Sul: safras 2007/08 e 2008/09

A Tabela 4 e a Figura 5 apresentam os resultados referentes às classes de uso e ocupação do solo que cederam área para a expansão da cultura da cana-de-açúcar nos principais estados produtores de cana-de-açúcar da região Centro-Sul. Nos dois anos safra avaliados, as classes *Pasto* e *Agricultura* foram responsáveis por mais de 98% da área cedida para cana-de-açúcar.

Nos dois anos safra foi observada uma expansão de 2,2 milhões ha, dos quais 98,1% foram sobre as classes *Pasto* (45,4%) e *Agricultura* (52,7%). A classe *Citrus* cedeu cerca de 1,3% e as classes *Reflorestamento* e *Floresta* (*Outros* na Tabela 4) cederam juntas 0,58%. Os dados da Tabela 4 e da Figura 4 mostram que a classe *Agricultura* cedeu mais área para cana-de-açúcar do que a classe *Pasto*; entretanto, a classe *Pasto* aumentou de 42,5 para 47,9% sua contribuição relativa, enquanto que a classe *Agricultura* diminuiu sua contribuição relativa de 55,9 para 49,9% da safra 2007/08 para a safra 2008/09.

Em sentido contrário, um estudo realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2008), com base em 343 entrevistas, indica que a expansão de cana-de-açúcar em 2007 ocorreu majoritariamente em áreas de pastagem (64,72%), seguidas por áreas de milho e soja (21,83%) e por novas áreas (2,4%). Fato comum entre este trabalho e o estudo apresentado pela CONAB é que a expansão recente da cana-de-açúcar ocorreu sobre áreas antropizadas, diminuindo o impacto ambiental da conversão no uso e na ocupação do solo (Nassar et al., 2008).

Tabela 4. Área em hectares da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar na região Centro-Sul* para as safras de 2007/08 e 2008/09.

| Ano Safra | Cana Expansão | Pasto | Agricultura | Citrus | Outros** |
|-------------------|---------------|---------|-------------|--------|----------|
| 2007/08 | 1.022.000 | 434.330 | 571.810 | 8.997 | 6.863 |
| 2008/09 | 1.162.203 | 556.703 | 579.821 | 19.919 | 5.760 |
| 2007/08 e 2008/09 | 2.184.203 | 991.033 | 1.151.631 | 28.916 | 12.623 |

* Principais estados produtores: São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

** Engloba as classes de *Reflorestamento* e *Floresta*.

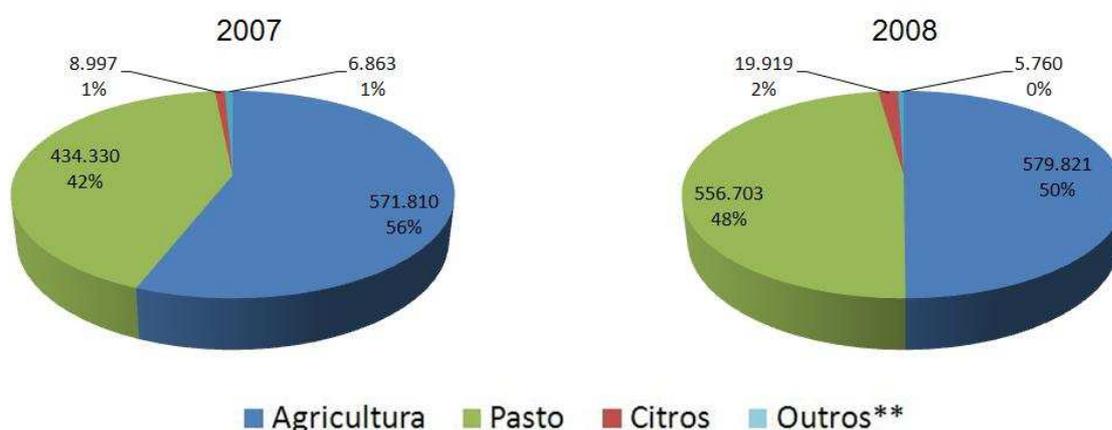


Figura 5. Área em hectares e percentagem das classes do uso e ocupação do solo que cederam área para a expansão da cana-de-açúcar nos principais estados produtores de cana-de-açúcar na região Centro-Sul nas safras 2007/08 e 2008/09.

** Engloba as classes de *Reflorestamento* e *Floresta*.

4. Conclusões e recomendações

As imagens de sensoriamento remoto obtidas sistematicamente pelos sensores orbitais a bordo dos satélites Landsat e CBERS permitiram identificar as classes de uso e ocupação do solo que cederam espaço para a recente expansão da cultura da cana-de-açúcar. A interpretação visual das imagens de sensoriamento remoto na tela do computador é trabalhosa, mas permite classificar as áreas de interesse gerando uma classificação temática confiável através de um procedimento objetivo e mensurável.

Nos dois anos avaliados a classe *Agricultura* cedeu a maior área para o cultivo da cana-de-açúcar, contudo é possível observar que a classe *Pastagem* teve um significativo aumento no ano safra 2008/09, principalmente nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e São Paulo.

Recomendam-se estudos voltados às possíveis alterações na dinâmica sócio-econômica provocadas pela alteração do uso e ocupação do solo nestas regiões, bem como análises em nível regional e municipal. Este trabalho também pode servir como base para modelos de mudança de uso e ocupação do solo e cenários futuros.

Agradecimentos

À equipe de mapeamento do Laboratório de Sensoriamento Remoto em Agricultura e Floresta (LAF) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Referências Bibliográficas

Canasat. Tabelas e relatórios. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/tabelas.jsp>>. Acesso em: 10 nov.2008.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) Perfil do setor de açúcar e álcool no Brasil. Brasília: CONAB, 2008.

Kutas, G.; Zechin, M. R.; Em busca da globalização. **Agroanalysis**, v. 28, n. 08, p. 25-28, 2008.

Nassar, A. M.; Rudorff, B. F. T.; Antoniazzi, L. B.; Aguiar, D. A. de; Bacchi, M. R. P.; Adami, M.. Prospects of the Sugarcane Expansion in Brazil: Impacts on Direct and Indirect Land Use Allocation and Changes. In: Peter Zuurbier, Peter; de Vooren, Jos van (eds). **Sugarcane ethanol**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008. Cap. 3. p.63-93.

Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Xavier, A. C.; Rosa, V. G. C.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de Satélite no Mapeamento e Estimativa de Área de Cana-de-Açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

Rudorff, B. F. T., Sugawara, L. M. Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélite. **Informe agropecuário. Geotecnologias**. n. 241, p. 79-86, 2007.

Sousa, E. L.; Zechin, M. R.; O etanol e o pão nosso de cada dia. **Agroanalysis**, v. 28, n. 08, p. 31-33, 2008.