

Expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: safras 2003/2004 a 2008/2009

Daniel Alves de Aguiar¹
Wagner Fernando da Silva¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Luciana Miura Sugawara¹
Magog Araújo de Carvalho¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{daniel, wagner, bernardo, luciana}@dsr.inpe.br; magogaraujo@gmail.com

Abstract. The sugarcane crop has largely expanded its cultivated area during the last six years in order to meet the current and future worldwide demand for ethanol. Since the crop year of 2003/04 the National Institute for Space Research (INPE) is carrying out a project to map cultivated sugarcane areas using medium resolution remote sensing satellite images. Sugarcane thematic maps are yearly elaborated with the classes of sugarcane available for harvest including newly cultivated areas (sugarcane expansion) and sugarcane fields that are being renewed and, therefore, not available for harvest in that specific crop year. The objective of this paper is to analyze the evolution of the sugarcane cultivated area in São Paulo State from crop year 2003/04 to 2008/09. The analysis was performed at a Regional Administrative level that comprises several municipalities within a particular region. São Paulo State is by far the major sugarcane producer in Brazil. It experienced a 73% increase in available area for harvest during the analyzed period reaching a total of 4.45 million ha in the crop year of 2008/09. The Regional Administrations located in the North-Central of São Paulo are traditional sugarcane production regions with very dense area of sugarcane cultivation and, therefore, with less potential for area expansion. Conversely, the Regional Administrations located in the West-North of São Paulo are regions of traditional cattle producers with great potential of available area for sugarcane expansion and, therefore, experienced the greatest sugarcane expansion.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, mapeamento, expansão, sensoriamento remoto, sugarcane, mapping, expansion, remote sensing.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas de grande importância econômica no Brasil. Por causa do interesse em diminuir a dependência pelos combustíveis fósseis e da preocupação ambiental global, o uso do etanol está tomando proporções mundiais, estimulando a expansão do cultivo da cana-de-açúcar. Na safra 2007/08, as usinas brasileiras processaram 493,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo 22,5 bilhões de litros de etanol e 30,8 milhões de toneladas de açúcar. O Estado de São Paulo é o principal produtor de cana-de-açúcar no Brasil. Na safra 2007/08, este Estado foi responsável pela produção de 296,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que representou 60,1% da produção total do Brasil e 68,7% da produção da região Centro-Sul (UNICA, 2008).

O monitoramento e o gerenciamento de toda cadeia produtiva desta cultura, a iniciar pelo seu cultivo, é imprescindível para o estabelecimento de políticas públicas de segurança alimentar e zoneamento agrícola, bem como para estratégias de mercado. Dados de área cultivada, de novas áreas de plantio, de colheita e estatísticas de produção a cada safra são importantes para esse gerenciamento. Imagens obtidas por satélites de sensoriamento remoto são relevantes ferramentas para a obtenção desses dados, principalmente porque a cana-de-açúcar é uma cultura semiperene e plantada em grandes áreas (Rudorff et al., 2004; Rudorff et al., 2005).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em conjunto com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (Esalq/USP) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) realiza, desde a safra 2003/2004, o mapeamento

anual do cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Todos os mapeamentos e dados de área cultivada estão disponibilizados no site <www.dsr.inpe.br/canasat>.

O objetivo deste trabalho é analisar a evolução da área cultivada com cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo, da safra 2003/04 a 2008/09, mapeadas pelo projeto Canasat, por meio de imagens obtidas por satélites de sensoriamento remoto.

2. Metodologia de Trabalho

A identificação das áreas de cultivo da cana-de-açúcar foi realizada com imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat-5. Na primeira safra (2003/04) utilizaram-se também imagens do sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) a bordo do Landsat-7. Como alternativa às imagens TM com cobertura de nuvens, foram utilizadas imagens do sensor CCD (*High Resolution CCD Camera*) a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B. A Figura 1 ilustra as órbitas/pontos das imagens TM/Landsat e CCD/CBERS necessárias para cobrir o Estado de São Paulo. São necessárias 19 cenas TM e 42 cenas CBERS para cobrir toda a área do Estado.

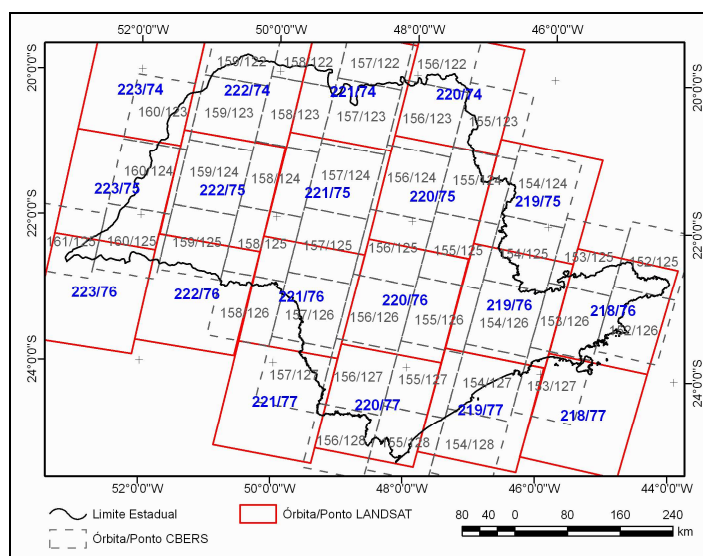


Figura 1. Órbitas/pontos das imagens TM/Landsat e CCD/CBERS necessárias para cobrir o Estado de São Paulo.

Os bancos de dados foram organizados por órbita/ponto do sensor TM/Landsat, ou seja, para cada órbita/ponto tem-se um banco de dados com imagens das datas de interesse dos dois sensores. Todas as imagens foram registradas utilizando polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo, com base nos mosaicos ortoretificados de imagens ETM+/Landsat-7 obtidos da NASA (GeoCover). Todos os registros foram realizados com erro médio quadrático menor que 0,5 pixel.

O mapa das áreas cultivadas com cana-de-açúcar da safra corrente é produzido com base no mapa da safra anterior, em duas etapas: interpretação visual das imagens da safra corrente e reclassificação dos pixels isolados. O primeiro mapa foi produzido para a safra 2003/04 por meio de classificação digital e visual das imagens de satélite (Rudorff et al., 2005). A partir desse mapa realizam-se atualizações, averiguações e correções anuais, por meio de seqüência temporal de imagens da safra corrente. Apesar de a classificação digital ter sido utilizada no primeiro mapeamento, ela é menos relevante na atualização dos mapas da safra corrente, pois esse procedimento apresenta muitos erros de omissão e inclusão, tornando necessária a classificação visual e a edição para obtenção de um mapa temático com resultado satisfatório.

A interpretação visual e a atualização do mapa são realizadas por meio da função de edição matricial do programa SPRING, que permite modificar ou corrigir o resultado de uma

classificação, bem como definir novos polígonos de classes. Nesse procedimento o intérprete utiliza as imagens de diversas datas contidas nos bancos de dados para confirmar à qual classe de cana o talhão pertence. A fim de homogeneizar os resultados, o mapa temático resultante de cada banco de dados foi revisado por um intérprete com maior experiência e posteriormente submetido à reclassificação de pixels isolados (Berka et al., 2005).

Para facilitar a análise das áreas cultivadas com cana-de-açúcar na atualização do mapa da safra corrente, todas as outras classes de uso e ocupação do solo foram incluídas em uma classe denominada “outros”. A Figura 2a ilustra uma imagem TM/Landsat-5 do mês de abril de 2007 da região de Adolfo-SP, em que áreas cultivadas com cana-de-açúcar podem ser distinguidas visualmente de outras classes. A Figura 2b ilustra a mesma imagem TM sobreposta pela máscara da classe “outros”, o que permite a visualização apenas das áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

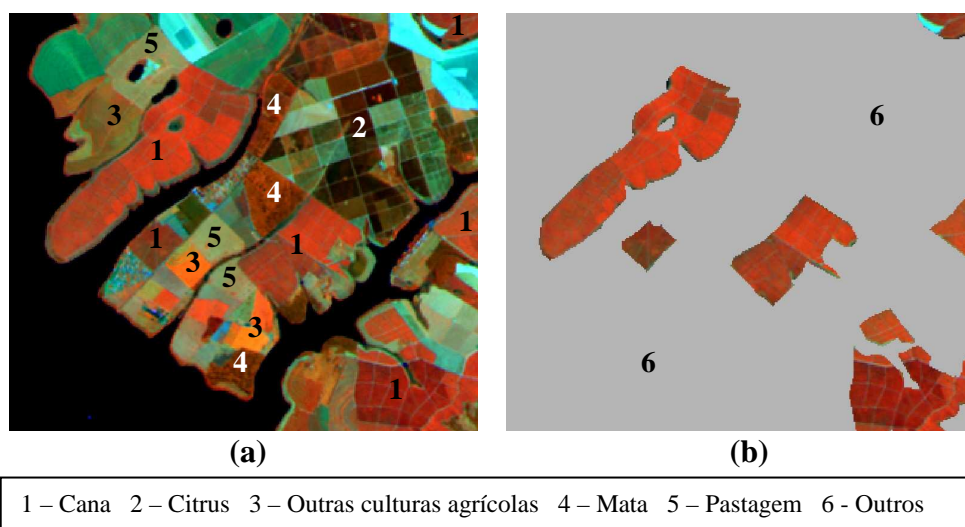


Figura 2. Imagem TM/Landsat-5 de 24/04/2007, composição 4(R)5(G)3(B), ilustrando a diferença entre as áreas cultivadas com cana-de-açúcar e as outras classes de uso e ocupação do solo (a) e sobreposta pela máscara da classe “outros” (b).

A resposta espectral característica da cana-de-açúcar em determinadas épocas do ano, a textura homogênea dos talhões e a presença de carregadores facilitam a distinção visual das áreas cultivadas com cana-de-açúcar dos outros usos e ocupação do solo. Dessa forma, para evitar confusão entre a cana-de-açúcar e os outros alvos presentes na cena, o mapeamento das áreas de cultivo na safra corrente é realizado com imagens que antecedem a colheita (janeiro a março), período em que a cana-de-açúcar encontra-se plenamente desenvolvida, e revisado com imagens do início da colheita (abril e maio).

O mapeamento e a estimativa da área cultivada com cana-de-açúcar na safra corrente são realizados em três classes:

1) Área de cana-de-açúcar disponível para colheita – São as áreas cultivadas com cana-de-açúcar passíveis de serem colhidas na safra corrente. Esta classe engloba três temas:

a) *Cana Soca* – recebem esta denominação as áreas cultivadas com cana-de-açúcar a partir da segunda colheita, ou seja, a partir da primeira rebrota;

b) *Reformada* – são as áreas de cana-de-açúcar que passaram por reforma dos talhões na safra anterior, ou seja, áreas onde as *socas* pouco produtivas foram substituídas e estarão disponíveis para colheita na safra corrente;

c) *Expansão* – Áreas que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos do solo e na safra corrente estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar e estarão disponíveis para colheita pela primeira vez. Lavouras de cana-de-açúcar que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar também

se inserem nessa classe. Para identificar essas áreas é necessário que o intérprete analise as imagens sob a classe “outros” do mapa da safra anterior.

2) Área de cana-de-açúcar em reforma – são as áreas que foram cultivadas com cana-de-açúcar na safra anterior, mas nas imagens utilizadas para o mapeamento da safra corrente não apresentam padrões de cultivo de cana-de-açúcar, indicando que foram substituídas por outro uso do solo. Se estas áreas voltarem a ser cultivadas com cana-de-açúcar na safra seguinte, pertencerão à classe *Reformada*.

3) Área total cultivada – é a área total ocupada por cana-de-açúcar, ou seja, o somatório da área de cana-de-açúcar disponível para colheita (1) e da área de cana-de-açúcar em reforma (2).

A análise da evolução da área cultivada com cana-de-açúcar, nas safras 2003/04 a 2007/08, foi feita para o Estado de São Paulo e para as suas Regiões Administrativas (RA).

3. Resultados e Discussão

O Estado de São Paulo é dividido em 15 RAs, das quais apenas as 4 localizadas no leste do Estado não apresentaram cultivo significativo de cana-de-açúcar durante as safras 2003/04 a 2008/09, são elas: São Paulo, São José dos Campos, Baixada Santista e Registro. Estas RAs possuem condições ambientais menos favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, como maiores taxas de pluviosidade e relevo acidentado (Alfonsi et al., 1987).

A Figura 3 ilustra a distribuição, por RA do Estado de São Paulo, das áreas de cana-de-açúcar cultivadas na safra 2008/2009, mapeadas por meio de imagens de satélite de sensoriamento remoto. Há uma maior concentração de área de cana-de-açúcar nas RAs do Centro-Norte do Estado: Ribeirão Preto, Franca e Barretos. As RAs de Sorocaba e Presidente Prudente apresentam as menores concentrações.

A Figura 4 ilustra a evolução da área de cana-de-açúcar disponível para colheita entre as safras 2003/04 e 2008/09 para as RAs produtoras de cana-de-açúcar, bem como para o Estado de São Paulo. Além disso, ilustra a taxa de crescimento anual entre as safras analisadas. Para o Estado de São Paulo foram mapeados mais de 2,57 milhões de hectares de área de cana-de-açúcar disponível para colheita na safra 2003/04 e mais de 4,45 milhões de hectares na safra 2008/09, o que representa um crescimento de 73% entre essas safras (Figura 4).

Entre as safras 2007/08 e 2008/09 houve um acréscimo de aproximadamente 490 mil hectares na área disponível para colheita no Estado de São Paulo. Entretanto, a taxa de crescimento da safra 2008/09 em relação à 2007/08 foi menor que a taxa de crescimento da safra 2007/08 em relação à safra 2006/07. Ao analisar por RA, esse comportamento só não foi observado nas RAs de Presidente Prudente, Central e Ribeirão Preto que apresentaram acréscimo na taxa de crescimento.

Para o período analisado houve um crescimento gradativo da área de cana-de-açúcar disponível para colheita em todas as RAs. As maiores taxas de crescimento anual, na maioria das RAs, ocorreram nas duas últimas safras, o que pode ser explicado pela alta demanda de etanol resultante do aumento de vendas de veículos bicompostíveis e o crescimento da exportação deste combustível. Os veículos bicompostíveis foram inseridos no mercado em 2003 e, em 2006, esse tipo de veículo atingiu 80% das vendas de automóveis e comerciais leves (excluídos os veículos com motor a diesel). Em 2008 as vendas ultrapassaram 90% e representam mais de 25% da frota nacional de veículos leves (Rodrigues e Rodrigues, 2008).

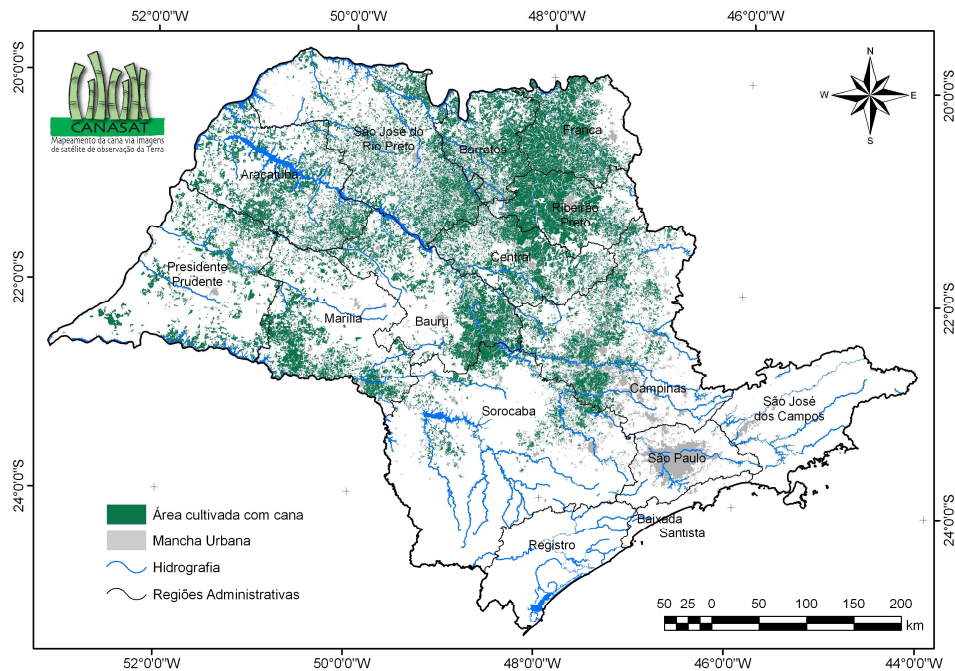


Figura 3. Distribuição, por região administrativa do Estado de São Paulo, das áreas cultivadas com cana-de-açúcar na safra 2008/2009 no Estado de São Paulo.

A RA de Araçatuba registrou a maior taxa de crescimento (40,0%) entre as safras 2006/07 e 2007/08, com um acréscimo de 107.521 ha na área disponível para colheita. Em seguida, encontram-se as RAs de Presidente Prudente, São José do Rio Preto e Sorocaba, que registraram taxas de 33,8%, 30,0% e 28,1%, respectivamente.

No geral, as menores taxas de crescimento foram registradas para as RAs de Ribeirão Preto, Franca e Central. A expansão da área de cana-de-açúcar está diretamente relacionada à disponibilidade de área adequada ao cultivo. A região Centro-Norte do Estado tem maior tradição no cultivo da cana-de-açúcar e por esse motivo é a região com maior concentração desta cultura agrícola. A Figura 5 ilustra a porcentagem da área das RAs ocupadas com o cultivo de cana-de-açúcar na safra 2008/09, incluindo as áreas em reforma. A RA de Ribeirão Preto possui a maior porcentagem de ocupação, com 51,0% da sua área ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar e por esse motivo possui a menor área disponível para expansão. As RAs de Barretos, Franca e Central possuem mais de 36,0% da sua área ocupada por cana-de-açúcar. As RAs da região oeste do Estado possuem baixa porcentagem de ocupação por cana-de-açúcar, além disso, possuem maior concentração de áreas de pecuária extensiva de gado de corte, que tem sido alterado pelo confinamento do rebanho, impulsionando a expansão da cana-de-açúcar nestas regiões (Lopes, 2008). As RAs de Campinas e Sorocaba também possuem baixa porcentagem de área ocupada com cana-de-açúcar, devido ao fato destas RAs possuírem grande concentração urbana e industrial, com destaque para indústria têxtil e de metalurgia leve e também o cultivo de outras culturas agrícolas (SEADE, 2008).

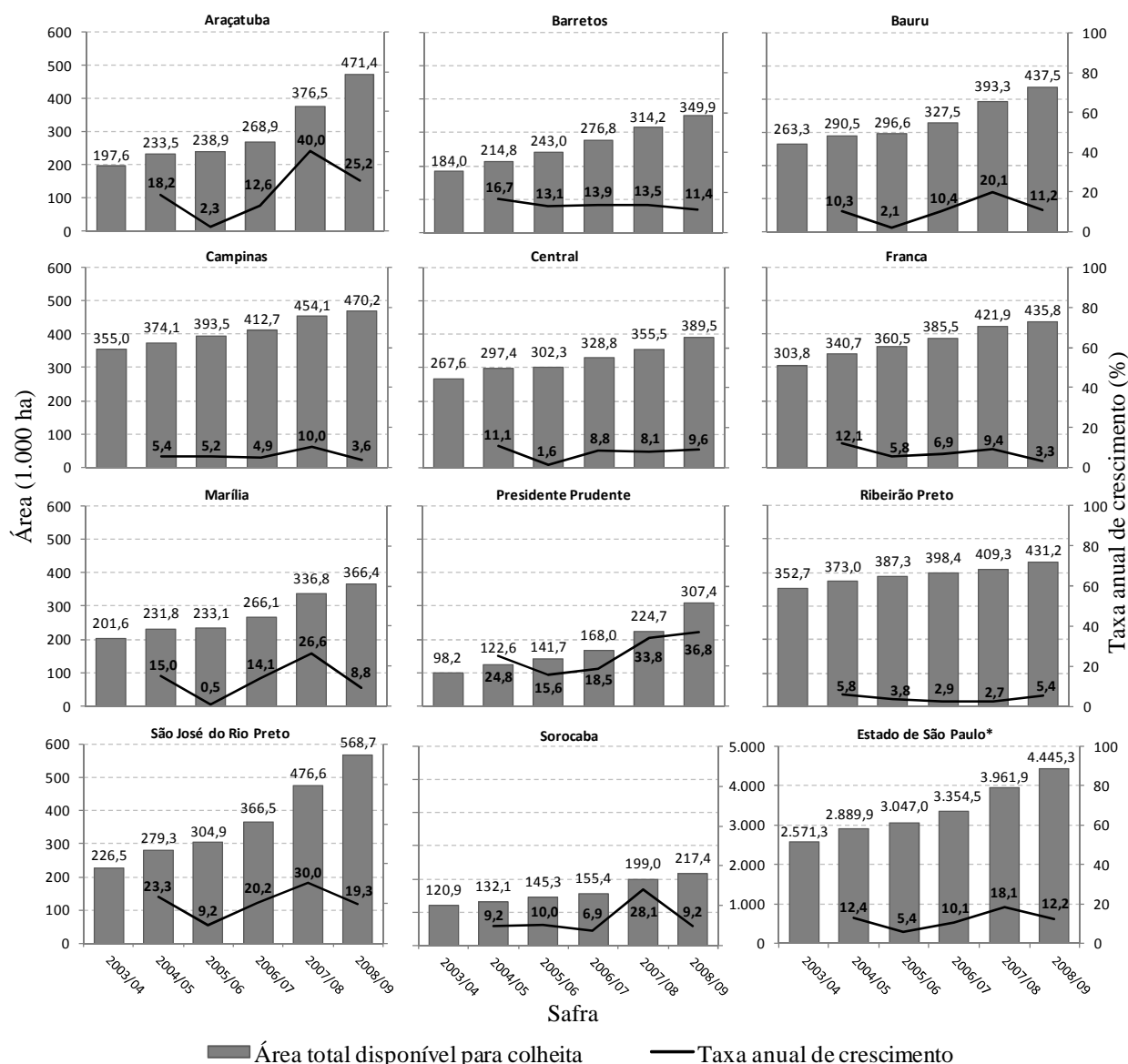


Figura 4. Evolução da área de cana-de-açúcar disponível para colheita entre as safras 2003/04 e 2008/09 e taxa anual de crescimento.

Para a safra 2008/09 a RA com maior área de cana-de-açúcar disponível para colheita foi a de São José do Rio Preto, com 568.677 ha, o que representa 12,79% da área total disponível para colheita no Estado de São Paulo (Tabela 1). Em seguida encontram-se as RAs de Araçatuba e Campinas, com representatividade de 10,60% e 10,58%, respectivamente. Apesar destas RAs possuírem baixa porcentagem de área ocupada com cana-de-açúcar (Figura 5), elas possuem as maiores áreas cultivadas, o que se explica pelo fato dessas RAs terem grande extensão territorial. Por exemplo, a extensão territorial da RA de São José do Rio Preto é 2,7 vezes maior que a de Ribeirão Preto e 2,5 vezes maior que a de Franca, enquanto a área ocupada por cana-de-açúcar é apenas 1,3 vezes maior do que destas duas RAs. Portanto, apesar de possuírem a maior área de cultivo de cana-de-açúcar, em número absoluto, elas também possuem potencial à expansão da área cultivada.

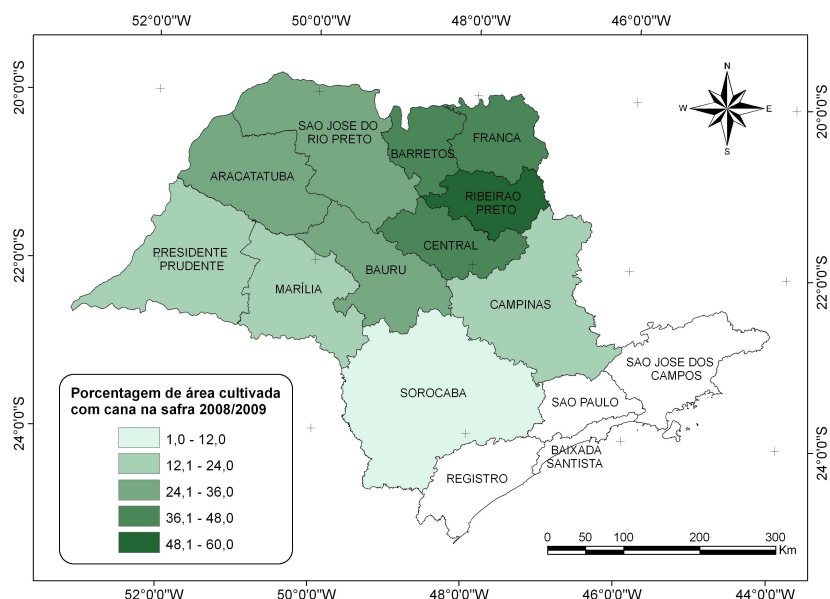


Figura 5. Porcentagem da área da RA ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar na safra 2008/09.

As áreas de cana-de-açúcar, geralmente, são reformadas após o quinto ou o sexto corte (Rudorff et al., 2005), sendo que esse procedimento é feito anualmente em 14 a 17% da área total (Penariol e Segato, 2007). Desta forma, RAs com maior tradição no cultivo da cana-de-açúcar apresentam maior quantidade de áreas antigas de cultivo e, portanto, maior porcentagem de área em reforma do que regiões com menor tradição. Esse fato pode ser confirmado com o coeficiente Expansão/Reforma, que é a divisão entre o total de área em reforma em relação ao total de área de expansão entre as safras 2004/05 e 2008/09 (Tabela 1). A safra 2003/04 não foi contabilizada porque foi o primeiro mapeamento do projeto Canasat e, portanto, não foi mapeada a área de expansão.

Tabela 1. Dados da evolução da área cultivada com cana-de-açúcar nas Regiões Administrativas do Estado de São Paulo. Área disponível para colheita na safra 2008/09, representatividade desta área no total disponível no Estado, área total de expansão e em reforma entre as safras 2004/05 e 2008/09, coeficiente expansão/reforma e taxa de crescimento total da área disponível para colheita entre as safras 2003/04 e 2008/09.

RA	Área disp. colheita safra 2008/09 (ha)	Represent. em SP (%)	Expansão total 2004 a 2008 (ha)	Reforma total 2004 a 2008 (ha)	Coef. Exp./Ref.	Taxa cresc. total 2003 a 2008 (%)
Araçatuba	471.364	10,60	293.598	125.384	2,34	138,49
Barretos	349.916	7,87	174.653	113.694	1,54	90,13
Bauru	437.494	9,84	178.454	148.503	1,20	66,16
Campinas	470.207	10,58	122.169	193.901	0,63	32,44
Central	389.491	8,76	115.695	190.640	0,61	45,54
Franca	435.780	9,80	126.069	177.993	0,71	43,46
Marília	366.385	8,24	176.728	140.434	1,26	81,72
Pres. Prudente	307.404	6,92	221.094	62.316	3,55	213,06
Ribeirão Preto	431.188	9,70	55.087	232.402	0,24	22,26
São J. do Rio Preto	568.677	12,79	359.337	171.157	2,10	151,07
Sorocaba	217.371	4,89	99.675	60.178	1,66	79,73
Total	4.445.277	100,00	1.922.559	1.616.602	1,19	72,88

As RAs de Ribeirão Preto, Central, Campinas e Franca apresentaram coeficientes abaixo de 1,0, ou seja, o total de área em reforma foi maior que o total de área de expansão. Além disso, apresentaram as menores taxas de crescimento total entre as safras 2003/04 e 2008/09

(Tabela 1). Por outro lado, as RAs de Presidente Prudente, Araçatuba e São José do Rio Preto apresentaram os maiores coeficientes e as maiores taxas de crescimento de área disponível para colheita. Na ordem citada dessas RAs, o crescimento entre as safras 2003/04 e 2008/09 foi de 213,06%, 138,49% e 151,07% (Tabela 1). Todos estes dados demonstra a coerência do mapeamento durante as safras analisadas e confirma que a expansão do cultivo da cana-de-açúcar está acelerada na região oeste do Estado, sobre áreas de pastagem (Nassar et al., 2008).

5. Conclusões

A metodologia utilizada tem se mostrado eficiente na atualização anual dos mapas das áreas cultivadas com cana-de-açúcar. O uso do mapa da safra anterior agiliza o mapeamento, pois as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, geralmente, continuam sendo cultivadas com essa cultura. Dessa forma, o trabalho intensifica-se na identificação de áreas de expansão e reforma.

O Estado de São Paulo apresentou crescimento de 73% na área disponível para colheita entre as safras 2003/04 e 2008/09. Todas as regiões administrativas apresentaram crescimento gradativo entre as safras analisadas. As regiões administrativas com maiores expansões foram a de Presidente Prudente, São José do Rio Preto e Araçatuba que também apresentam umas das menores porcentagens de extensão territorial ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar, o que as tornam regiões com grande potencial de expansão.

Referências Bibliográficas

- Alfonsi, R. R.; Pedro Júnior, M. J.; Brunini, O.; Barbieri, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B. (coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.42-55.
- Berka, L. M. S.; Rudorff, B. F. T.; Freitas, R. M. Reclassificação controlada de pixels isolados em mapas de cana-de-açúcar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 33-40. <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.37/doc/Berka.pdf>>. Acesso em: 30 novembro 2008.
- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). **Índice Paulista de Responsabilidade Social**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/iprs/ra.php>>. Acesso em: 08.nov.2008.
- Lopes, F. Crops occupy fields where cattle grazed. **Valor econômico**. Special edition, p.16-18, 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.
- Penariol, A. L.; Segato, S. V. Importância da rotação de culturas na cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Fernandes, C.; Pinto, A. S. **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP 2, 2007. p. 11-18.
- Rodrigues, A. P.; Rodrigues, L. A nova agenda do setor sucroenergético: o etanol e os desafios do mercado interno. **AgroAnalysis**. V. 28, n.08, p.19-36, 2008.
- Rudorff, B. F. T.; Berka, L. M. S.; Xavier, A. C.; Moreira, M. A.; Duarte, V.; Rosa, V. G. C.; Shimabukuro, Y. E. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 47 p. (INPE-10791-RPQ/759).
- 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 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**. v. 52, n.1, p.21-29, 2005.
- União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). **Dados e Cotações – Estatísticas**, Produção Brasil. 2008. Disponível em <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 03.out.2008.