

Monitoramento agroambiental do setor sucroenergético: contribuições do sensoriamento remoto orbital para a certificação ambiental do cultivo da cana-de-açúcar

Daniel Alves Aguiar¹
Wagner Fernando Silva¹
Marcio Pupin Mello¹
Gustavo Bayma Siqueira da Silva¹
Marcos Adami¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Edison Crepani¹
Marco Aurélio Varlez¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{daniel, wagner, mello, bayma, adami, bernardo, crepani, marco}@dsr.inpe.br

Abstract. The potential for Brazilian sugarcane ethanol production and exportation is linked, among others, to environmental sustainability and certification. The objective of this work was to present the major activities carried out within the context of the Canasat Project that can contribute to the compliance of some certification guidelines for sustainable sugarcane ethanol production. The microregion of Auriflora in the State of São Paulo, Brazil was selected as study area. Remote sensing images from TM, AWiFS, CCD and HRC sensors were used to: 1) map sugarcane crop for crop year 2009/10; 2) map sugarcane harvest practice (with and without straw burning) during crop year 2009/10; 3) sugarcane cultivation in permanent protected areas (APP) by law; 4) land use and land cover change in remnants of native vegetation (RVN), and 5) land use and land cover change due to sugarcane expansion. The municipalities of General Salgado, Magda and São João de Iracema presented the largest amount of cultivated sugarcane in the study area. It was also observed that pasture released the largest amount of land (80%) for sugarcane expansion. The municipalities of Guzolândia, Gastão Vidigal, Floreal, Magda and Auriflora presented the highest percentages of sugarcane harvested without the practice of straw burning surpassing the goal established by the Agri-environmental Protocolo for the year of 2009. The municipalities of General Salgado and Auriflora presented the largest amount of cultivated sugarcane in APP with 1.1% and 0.4%, respectively. The municipalities of Nova Castilho and Gastão Vidigal had, respectively, 68.7 ha (8.3%), 16.1 ha (4.5%) of RVN suppressed. The applied method and the integrated analyses allowed to, preliminary, evaluate the adherence of sugarcane producers to a sustainable ethanol production, in the microregion of Auriflora, based on some proposed directives for the certification of ethanol production.

Palavras-chave: Remote sensing, sugarcane, permanent protected area, land use and land cover change, sensoriamento remoto, cana-de-açúcar, área de preservação permanente, mudança de uso e cobertura da terra.

1. Introdução

O aumento da produção e das exportações do etanol de cana-de-açúcar no Brasil está vinculado, entre outras necessidades, à sustentabilidade e à certificação ambiental. Nesse sentido, foi assinado em 2007 o Protocolo Agroambiental do setor sucroenergético, integrante do Projeto Etanol Verde (para detalhes ver: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde>). No Protocolo foram estabelecidas diretrizes para o desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, principal produtor nacional.

Entre as diretrizes estabelecidas pelo Protocolo estão: i) a antecipação, de 2021 para 2014 do fim da colheita com queima da palha, em áreas com declividade $\leq 12\%$, e de 2031 para 2017, em áreas com declividade $> 12\%$; ii) a proibição da colheita com queima da palha em áreas próximas ao perímetro urbano, parques e áreas de preservação e iii) a proteção das nascentes e matas ciliares.

Recentemente, somaram-se a essa iniciativa o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar realizado pela EMBRAPA/Governo Federal (EMBRAPA, 2009) e as diretrizes para a produção de biocombustíveis sugeridas pelo parlamento da União Européia (EP, 2008) e pela

United States Environmental Protection Agency (EPA, 2009) que visam a garantir a sustentabilidade ambiental do cultivo da cana-de-açúcar. Todas essas iniciativas vão ao encontro dos sistemas de certificação para a produção de combustíveis a partir de biomassa propostos na literatura (Smeets et al. 2008).

O Projeto Canasat do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza, com o uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, o mapeamento e o monitoramento da i) área cultivada com cana-de-açúcar; ii) do tipo de colheita, com ou sem queimada palha; iii) da inconformidade ambiental do cultivo de cana-de-açúcar em Áreas de Preservação Permanente (APP) referentes à hidrografia; iv) das mudanças de uso e cobertura da terra em áreas de Remanescentes de Vegetação Natural (RVN); e v) das mudanças de uso e cobertura da terra decorrentes da expansão do cultivo da cana-de-açúcar (Rudorff *et al.*, 2010). Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar as principais atividades desenvolvidas pelo Projeto Canasat que podem auxiliar no monitoramento e no cumprimento de algumas diretrizes estabelecidas em propostas de certificação ambiental para a produção de etanol da cana-de-açúcar.

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado na microregião de Auriflama, no noroeste do Estado de São Paulo. Nove municípios compõem esta microregião: Auriflama, Floreal, Gastão Vidigal, General Salgado, Guzolândia, Magda, Nova Castilho, Nova Luzitânia e São João de Iracema. A Figura 1 ilustra os limites e divisas desses municípios, bem como a área cultivada com cana-de-açúcar, na safra 2009/10, em suas diversas classes (Figura 1).

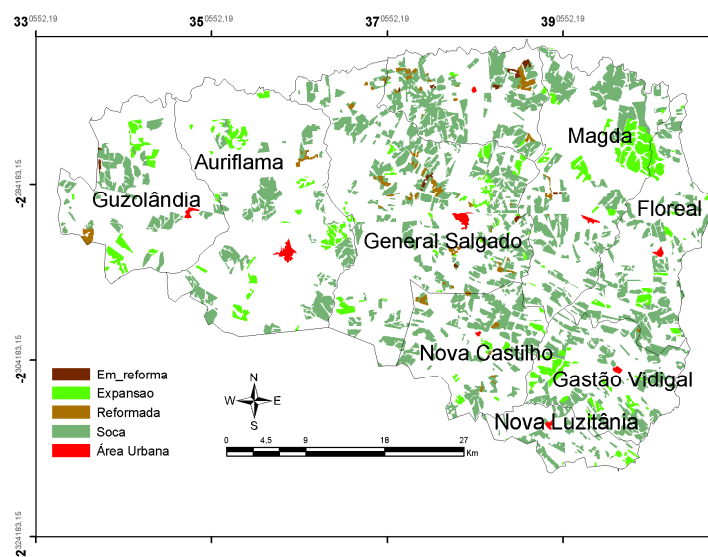


Figura 1. Cultivo de cana-de-açúcar na microregião de Auriflama, SP - Safra 2009/10.

O cultivo de cana-de-açúcar na microregião de Auriflama cresceu expressivamente entre as safras 2005/06 e 2009/10, assim como todo o extremo oeste/noroeste do Estado de São Paulo (Silva et al., 2010), motivado, em parte, pela proximidade do mercado consumidor, facilidade de escoamento da produção, disponibilidade de áreas aptas ao cultivo, preço e qualidade das terras (Tanaka et al., 2008).

Para mapear o cultivo e colheita da cana-de-açúcar, detectar as mudanças de uso e cobertura da terra nos RVN foram utilizadas imagens de média resolução espacial dos sensores TM/Landsat-5, *Advanced Wide Field Sensor* - AWiFS/ResourceSat-1 e Câmera Imageadora de Alta Resolução - CCD/CBERS-2B das órbitas/ponto 222/74, 327/93 e 158/122-123, respectivamente. Elas foram adquiridas entre setembro de 2008 e dezembro de 2009 (Tabela 2).

Tabela 2. Imagens utilizadas para o mapeamento das mudanças de uso e cobertura da terra nas áreas de remanescentes de vegetação nativa (RVN), para o monitoramento da colheita (Colheita) e para o mapeamento do cultivo da cana-de-açúcar (Canasat). [] imagens adquiridas em 2008; { } imagens adquiridas em 2009; a cor da fonte representa: em preto TM; em vermelho AWiFS; em azul CCD na órbita 158, pontos 122 (a) e 123 (b).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez									
RVN					{22}			{26}	{26}	{29}	{14}										
Colheita				{20}	{6}	{22}	{7}	{23}	{9}	{31}	{13 ^a }	{13 ^b }	{26}	{11}	{27}	{29}	{14}	{14 ^a }	{14 ^b }	{22 ^b }	{16}
Canasat	{14}		{3}	{19}						[24]		[27]									

Para o mapeamento das áreas de inconformidade ambiental do cultivo da cana-de-açúcar em APP foram utilizadas imagens de alta resolução espacial (2,7 m x 2,7 m) do sensor HRC/CBERS-2B, adquiridas entre janeiro de 2008 e dezembro de 2009. Para a identificação do uso e cobertura da terra anterior ao cultivo da cana-de-açúcar foram utilizadas imagens TM/Landsat adquiridas nas épocas seca (maio a outubro) e chuvosa (novembro a abril) do ano de 2003. Todas as imagens utilizadas foram obtidas junto ao catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE.

O programa SPRING 4.3.3 (Camara et al., 1996) foi utilizado para o processamento das imagens e para as ferramentas de geoprocessamento. As imagens foram registradas com base nas imagens Geocover.

O mapeamento do cultivo de cana-de-açúcar foi realizado como proposto por Rudorff et al. (2010). Essa metodologia se baseia na interpretação de imagens adquiridas em fases específicas do calendário agrícola do cultivo da cana-de-açúcar e permite identificar as áreas em reforma, as áreas que foram reformadas e as novas áreas de cultivo e conseqüentemente determinar as áreas disponíveis para colheita na safra corrente. Para tanto são utilizadas várias imagens da safra e empregadas chaves de interpretação, como cor, textura e formas (Silva et al., 2010).

Para a identificação das novas áreas de cultivo foram utilizadas imagens adquiridas em setembro/novembro de 2008, pois nesses meses já é possível identificar a resposta espectral característica do cultivo de cana-de-açúcar; e em abril de 2009, quando é possível certificar que as áreas identificadas previamente estarão disponíveis para colheita. Imagens de janeiro e março de 2009 foram utilizadas para identificar as áreas em reforma, indisponíveis para colheita na safra em questão (Rudorff et al., 2010).

A identificação do uso e cobertura da terra anterior ao cultivo de cana-de-açúcar foi realizada por meio da interpretação de imagens TM, de acordo com metodologia proposta por Rudorff et al. (2010), das áreas mapeadas como *expansão* na etapa de mapeamento do cultivo da cana-de-açúcar. As classes consideradas foram: *Agricultura*, para as áreas onde havia outro cultivo agrícola, em geral, culturas anuais; *Pastagem*, para as áreas de pastagem, independente de estarem ou sendo usadas para tal fim; e *Vegetação nativa*, para as áreas de vegetação nativa, i.e., reservas ou matas ciliares.

As áreas disponíveis para a colheita foram monitoradas por meio da interpretação de imagens do sensor TM adquiridas entre abril e dezembro de 2009, de acordo com a metodologia apresentada por Aguiar et al. (2010) e Rudorff et al. (2010).

Para a identificação do tipo de colheita, com ou sem a queima da palha, o intérprete se baseou na diferença entre as respostas espectrais da palha sobre o campo, resultado do processo de colheita mecânica¹ e do solo exposto com restos de palha queimada, resultado do

¹ Na maioria dos casos a colheita sem queima da palha é mecânica. Entretanto, em alguns casos é manual devido aos riscos de acidente e à declividade; p.ex.: próximo às rodovias e às redes de alta tensão.

processo de colheita manual² com a prévia queima da palha (Aguilar et al., 2009 e Rudorff et al., 2010).

Para a avaliação da colheita da cana-de-açúcar próxima às manchas urbanas foi realizada a intersecção entre o mapa da colheita e o mapa das manchas urbanas confeccionado por Pereira et al. (2005) e atualizado no âmbito do projeto Canasat, de acordo com a metodologia proposta por Paula et al. (2009).

O mapa de cultivo da cana-de-açúcar também serviu como base para a identificação das áreas de inconformidade ambiental em áreas de APP. Foi concebido um Banco de Dados Geográficos (BDG) com imagens dos sensores HRC e TM, grades de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), cartas topográficas e dados vetoriais da Base Cartográfica Digital do Estado de São Paulo.

A partir da interpretação das imagens HRC e com o auxílio de todos os planos de informação contidos no BDG, a rede de drenagem foi atualizada. A espacialização das APPs foi realizada por meio da ferramenta *mapa de distâncias* do SPRING, considerando as distâncias previstas nas Resoluções CONAMA n.º. 302 e n.º. 303. Por fim, foi realizada a intersecção entre o mapa do cultivo da cana-de-açúcar e o mapa das APPs, o que permitiu identificar as áreas de inconformidade ambiental.

Para o mapeamento das alterações nas áreas de RVNs foram selecionados os polígonos maiores que 26 ha obtidos junto da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), os quais foram determinados por meio da interpretação visual do mosaico de imagens do *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)*, do período de 2008/2009, em escala 1:25.000. Esses polígonos foram mensalmente monitorados com base na sobreposição com as imagens TN/Landsat, o que permitiu determinar novas áreas de desmate nos RVNs (Figura 3). De acordo com a SMA, todos os RVNs monitorados nos municípios avaliados pertencem à classe de vegetação *Savana*.

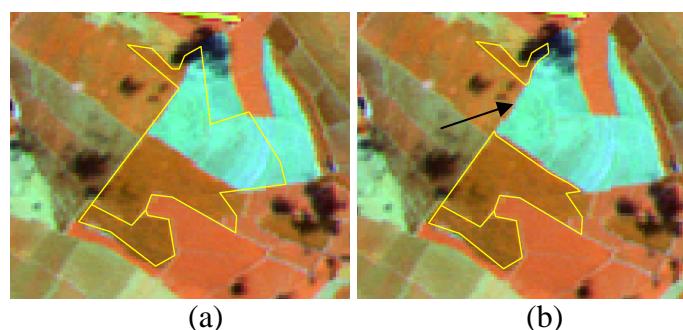


Figura 3. Exemplo de identificação de desmate nos polígonos de RVN. Imagem TM, composição R(4) G(5) B(3), de 29/04/2009. Em: a) polígono original de RVN, em amarelo, sobreposto na imagem TM; e b) polígono editado de RVN, em amarelo.

3. Resultados e discussão

O mapeamento do cultivo de cana-de-açúcar com base na interpretação de imagens de sensores orbitais permitiu quantificar a área de cana-de-açúcar disponível para colheita, bem como a área em reforma e o total cultivado em cada município da microregião de Auriflora (Tabela 2, Figura 1). O município de General Salgado teve a maior área de cultivo de cana-de-açúcar da microregião, seguido pelos municípios de Magda e São João de Iracema, sendo que os dois últimos tiveram os maiores percentuais de área territorial ocupada com o cultivo de cana-de-açúcar, com 29,6 e 36,8%, respectivamente.

² Na maioria dos casos a colheita com queima da palha é manual. Entretanto, em algumas usinas onde as colheitadeiras são antigas ainda se queima a cana antes da colheita mecânica.

Entre as safras 2005/06 e 2009/10 os maiores aumentos da área total cultivada ocorreram nos municípios de Magda, Auriflana e Floreal, com 7,63, 5,78 e 5,66 mil ha, respectivamente. Todavia, percentualmente os maiores aumentos ocorreram em Floreal, Auriflana e Gastão Vidigal, com 5.383%, 2.700% e 1.306%. (Tabela 2). Em 2005 o município de Floreal tinha 0,5% de sua área ocupada com cana-de-açúcar, já em 2009, 28,0% da área do município era ocupada com cana-de-açúcar. Tal mudança de uso e cobertura da terra tem implicações ambientais significativas e influenciam sobremaneira no balanço energético e de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE); pontos-chaves da sustentabilidade ambiental e econômica dos biocombustíveis (Goldemberg & Guardabassi, 2009).

Tabela 2. Dados do cultivo da cana de açúcar nos municípios da microregião de Auriflana - Safra 2009/10, área total cultivada na safra 2005/06 e taxa de expansão entre as safras 2005/06 e 2009/10.

Município	Disponível para colheita (ha)				Em reforma ^(e) (ha)	Total Cultivada ^(f=d+e) 2009/10 (ha)	Total Cultivada 2005/06 (ha)	Taxa de Expansão (%)
	Soca ^(a)	Reformada ^(b)	Expansão ^(c)	Total ^(d=a+b+c)				
Auriflana	4.390	120	1.483	5.993	0	5.993	214	2.700
Floreal	4.696	2	1.004	5.702	0	5.702	104	5.383
Gastão Vidigal	4.121	11	1.086	5.218	0	5.218	371	1.306
General Salgado	9.924	689	1.113	11.726	111	11.837	6.171	92
Guzolândia	2.817	189	1.000	4.006	46	4.052	638	535
Magda	6.930	73	2.048	9.051	23	9.074	1.444	528
Nova Castilho	4.379	199	409	4.987	0	4.987	1.273	292
Nova Luzitânia	1.127	0	170	1.297	0	1.297	577	125
S. J. de Iracema	5.653	482	98	6.233	186	6.419	5.016	28
Total	44.037	1.765	8.411	54.213	366	54.579	15.808	245

O uso e cobertura da terra anterior ao cultivo da cana-de-açúcar são apresentados na Tabela 3. Nota-se que a expansão da cana-de-açúcar em 2009/10 ocorreu majoritariamente sobre pastagens. Nos municípios avaliados, mais que 80% da expansão do cultivo da cana-de-açúcar ocorreu sobre áreas de pastagens. Esse resultado se alinha aos estudos que apontam a conversão de pastagens para produção de biocombustíveis como positiva ao cálculo do balanço de emissões de GEE (EPA, 2009; Leite et al., 2009). Apenas no município de Nova Luzitânia a expansão ocorreu totalmente sobre outros usos agrícolas.

As emissões de GEE ocorridas durante a colheita da cana-de-açúcar em decorrência da queima da palha também são contabilizadas no balanço de GEE da produção de etanol, em adição, diminuem a qualidade do ar nas cidades e são, em grande medida, responsáveis e/ou agravam as doenças cardiorrespiratórias (Cançado et al., 2006). O monitoramento da colheita da cana-de-açúcar permitiu mensurar a área colhida com e sem queima da palha nos municípios avaliados na safra 2009/10 (Tabela 4), bem como a área de cana não colhida ao final da safra, denominada cana bisada. Os municípios de Guzolândia, Gastão Vidigal, Floreal, Magda e Auriflana obtiveram os maiores percentuais de colheita sem queima, superando a meta do protocolo agroambiental para o ano de 2009 que previa 50% da colheita sem queima.

Destaque negativo para os municípios de São João do Iracema, Nova Castilho e General Salgado, com 85,3%, 70,6% e 67,0% da área colhida com a queima da palha, respectivamente. Como consequência da queima da palha o solo fica exposto e aumenta o risco de erosão. De acordo com Walter et al. (2008), a manutenção da palha no campo diminui a perda de solo e de água, ajudando a manter o estoque de carbono no solo.

Tabela 3. Percentual do uso e cobertura da terra anterior à expansão do cultivo da cana-de-açúcar - Safra 2009/10.

Município	Agricultura	Pastagem	Vegetação
	(%)	(%)	Nativa (%)
Auriflama	9,8	89,4	0,8
Floreal	13,1	86,9	0,0
Gastão Vidigal	20,7	79,3	0,0
General Salgado	17,3	82,7	0,0
Guzolândia	17,5	79,2	3,3
Magda	11,6	88,4	0,0
Nova Castilho	17,5	82,5	0,0
Nova Luzitânia	100,0	0,0	0,0
S. J. de Iracema	6,0	94,0	0,0
Total	16,1	83,4	0,5

A intersecção entre o mapa de colheita e o mapa das manchas urbanas permitiu identificar as áreas colhidas com queima da palha em distâncias menores que 1 km do perímetro urbano, contrariando assim o artigo 4º do decreto nº 47.700 que proíbe tal prática. Em cinco dos nove municípios pôde ser observada essa prática, com destaque para General Salgado e Nova Luzitânia (Tabela 4).

General Salgado e Auriflama tiveram as maiores APPs e, em contrapartida, apenas 1,10% e 0,39% dessas áreas foram ocupadas com cana-de-açúcar, respectivamente (Tabela 4). Em sentido contrário, Gastão Vidigal e Nova Castilho tiveram 2,03% e 2,00%, respectivamente, das APP ocupadas com cana-de-açúcar. Isto significa que tais áreas estão em inconformidade ambiental, de acordo com as Resoluções CONAMA nº. 302 e nº. 303.

O impedimento da supressão de mata ciliar para o cultivo da cana-de-açúcar é tema comum às propostas de certificação para a produção de biocombustíveis, tanto pela perda de biodiversidade, quanto pelo risco à disponibilidade de água (Smeets et al. 2008).

Tabela 4. Colheita da cana de açúcar, inconformidade em APPs, alteração nos RVN e queima da palha da cana-de-açúcar próxima às áreas urbanas.

Município	Colheita						APP ha	Incoformidade ha	%	RVN ha	RVN alterado			Área Ubana ha	Queima - 1km de área urbana ha
	Queima		Crua		Bisada						ha	ha	%		
	ha	%	ha	%	ha	%					ha	ha	%		
Auriflama	2.181,5	47,9	2.376,7	52,1	1.130,0	19,9	4.068,0	15,8	0,39	372,4	0,7	0,18	254,9	0,0	
Floreal	1.192,4	29,0	2.924,6	71,0	1.523,0	27,0	1.403,3	22,9	1,63	269,5	0,0	0,00	71,8	0,0	
Gastão Vidigal	1.234,6	28,5	3.101,9	71,5	735,3	14,5	1.460,9	29,6	2,03	355,5	16,1	4,52	60,2	3,9	
General Salgado	6.293,0	67,0	3.096,5	33,0	2.034,4	17,8	4.495,3	49,6	1,10	615,8	0,0	0,00	200,6	23,4	
Guzolândia	609,6	17,2	2.934,0	82,8	461,9	11,5	2.491,7	14,4	0,58	466,6	0,0	0,00	87,9	18,9	
Magda	2.505,3	31,0	5.572,5	69,0	963,7	10,7	2.466,1	19,1	0,77	689,3	0,0	0,00	75,9	0,0	
Nova Castilho	2.439,7	70,6	1.015,0	29,4	1.411,7	29,0	1.683,5	33,7	2,00	828,8	68,7	8,29	26,3	4,6	
Nova Luzitânia	594,5	52,2	543,5	47,8	154,4	11,9	949,5	7,0	0,74	109,0	0,0	0,00	53,7	36,0	
S. J. de Iracema	4.607,7	85,3	792,3	14,7	763,5	12,4	1.519,2	9,3	0,61	386,9	0,0	0,00	29,1	0,0	
Total	21.658,3	49,2	22.357,1	50,8	9.177,8	17,3	20.537,4	201,3	0,98	4.093,8	85,4	2,1	860,4	86,8	

Os municípios de Nova Castilho, Magda e General Salgado tiveram as maiores áreas de RVN, sendo que para os dois últimos e para os municípios de Floreal, Guzolândia, Nova Luzitânia e São João de Iracema não foram identificadas alterações de uso e cobertura da terra nas áreas monitoradas. Nova Castilho, Gastão Vidigal e Auriflama tiveram, respectivamente, 68,7 ha (8,29%), 16,1 ha (4,52%) e 0,7 ha (0,18%) de RVN suprimidos no período analisado.

A manutenção dos RVNs se faz imprescindível em municípios com cultivo de cana-de-açúcar, já que do ponto de vista biogeoquímico, esses remanescentes servem de ponto de pouso, abrigo e alimentação para a fauna, auxiliam na manutenção de micro-climas, funcionam como estabilizadores de ribanceiras, participando do ciclo de nutrientes, evitando os processos erosivos e o carreamento de sedimentos para os rios e lagos (Rodrigues, 1992).

A análise de imagens de sensores orbitais permitiu uma avaliação preliminar integrada de diversos pontos abordados pelas propostas de certificação ambiental do cultivo da cana-de-açúcar para a produção de etanol. O município de Nova Castilho (Figura 4), apesar de não estar entre os maiores produtores de cana-de-açúcar da microregião avaliada, apresentou o maior percentual de colheita com a queima da palha (70,6%), o segundo maior percentual de APP ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar (2%) e a maior supressão de RVN (68,7 ha). Em sentido contrário, o município de Guzolândia apresentou o menor percentual de colheita com queima da palha (17,2%), a segunda menor área percentual de APP ocupada com o cultivo de cana-de-açúcar (0,58%) e nenhuma alteração nos RVNs.

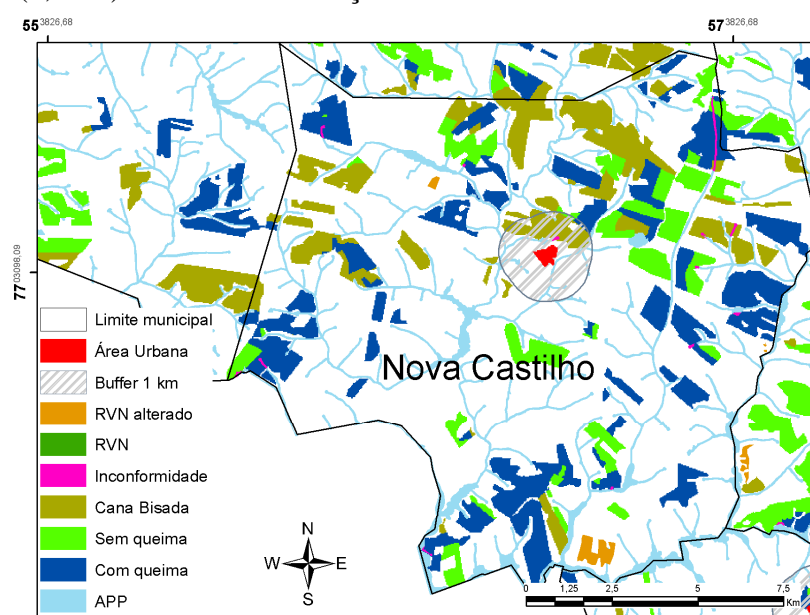


Figura 4. Tipo de colheita da cana-de-açúcar, com e sem a queima da palha; APPs e áreas de inconformidade ambiental, RVN e mudanças de uso e cobertura da terra em RVN.

4. Considerações finais

A metodologia empregada e a análise integrada dos resultados apresentados nesse trabalho permitiu avaliar, preliminarmente, a aderência dos produtores de cana-de-açúcar da microregião de Aurifluma quanto à algumas das diretrizes do Protocolo Agroambiental da SMA e das propostas de certificação ambiental para a produção de biocombustíveis, em especial no que se refere à queima da palha da cana-de-açúcar, à mudança de uso e cobertura da terra e à preservação de matas ciliares e de remanescentes de vegetação nativa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe de mapeamento do Laboratório de Sensoriamento Remoto em Agricultura e Floresta (LAF) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Referências Bibliográficas

Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M. Canasat Project: monitoring the sugarcane harvest type in the state of São Paulo, Brazil. In: ISPRS TC VII Symposium - 100 Years, 2010, Viena. Proceedings of the ISPRS TC VII Symposium Part 7B. Viena: ISPRS, 2010, v. 38, p. 10-15.

Aguiar, D. A.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola (Impresso)**, v. 29, n. 3, p. 440-451, 2009. doi: <10.1590/S0100-69162009000300011>.

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Cançado, J.E.D., Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A., Lara, L.B.L.S., Artaxo, P., Martinelli, L.A., Arbex, M.A., Zanobetti, A., Braga, A.L.F.. The impact of sugarcane- burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives** 114 (5), 725–729, 2006.

Embrapa Solos. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Org: Manzatto, C. V. et al. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 110).

Environmental Protection Agency (EPA). Draft Regulatory Impact Analysis : Changes to Renewable Fuel Standard Program. USA Environmental Protection Agency, 2009.

European Parliament. European Parliament legislative resolution of 17 December 2008 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable energy sources. v. 16, p.76, 2008.

Goldemberg, J.; Guardabassi, P. Are biofuels a feasible option? **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 10-14. 2009. doi: 10.1016/j.enpol.2008.08.031

Leite, R. C.; Leal, M. R.; Cortez, L. A.; Griffin, W. M.; Scandiffio, M. I. Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol? **Energy**, v. 34, n. 5, p. 655-661. 2009. doi: 10.1016/j.energy.2008.11.001.

Paula, J. V.; Mendes, F. S.; Moura, Y. M.; Aguiar, D. A.; Pereira, G.. Avaliação das áreas com queima da palha da cana-de-açúcar próximas às manchas urbanas nos municípios de Sertãozinho e Ribeirão Preto – SP. In: XI Simpósio Nacional de Geografia Urbana. Brasília. 2009.

Pereira, M. N.; Gonçalves, C. D. A. B.; Souza, I. M.; Garcia, S.; Portela, A. G.; Almeida, C. M.; Rosemback, R.; Florenzano, T. G. Uso de imagens de Satélite como subsídio ao estudo do processo de urbanização. INPE, São José dos Campos, 2005.

Rodrigues, R.R.; Bonomi, V. L. R. Introdução. In: RODRIGUES, R. R.; JOLY, C.A.; BRITO, M.C.W. de; CASATTI, L.; PAESE, A. (Coord.). Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo. São Paulo: SMA; Instituto de Botânica, 2008.

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(4), p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.

Silva, W. F. ; Aguiar, D. A. ; Rudorff, B. F. T. ; Sugawara, L. M. Canasat Project: monitoring of the sugarcane cultivation area in South Central Brazil. In: ISPRS TC VII Symposium - 100 Years, 2010, Viena. Proceedings of the ISPRS TC VII Symposium Part 7B. Viena: ISPRS, 2010, v. 38, p. 535-540.

Smeets, E.; Junginger, M.; Faaij, A.; *et al.* The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 8, p. 781-813. 2008. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.005.

Tanaca, E. K. T.; Pereira, J. A. Z.; Pigatto, G. Substituição da pecuária de corte e expansão da cana-de-açúcar no estado de são paulo: o impacto nas regiões oeste e noroeste do estado. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2005, Rio Branco. Anais... Rio Branco: SBEASR, 2005, p.1-19.

Walter, A.; Dolzan, P.; Segerstedt, A. A Sustainability Analysis of the Brazilian Ethanol. Campinas: UNICAMP, 2008. 167 p.