MONITORAMENTO DA QUEIMA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ITAPEMIRIM (ES) POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Ivo Augusto Lopes Magalhães¹, André Ferrari Gualberto¹, Samuel Ferreira da Silva¹,
Atanásio Alves do Amaral², Jéferson Luiz Ferrari²

1 Pós-graduados em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil (ivosmagalhaes@gmail.com)

2 Professores Titulares-Livres no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil

Recebido em: 08/04/2017 – Aprovado em: 10/06/2017 – Publicado em: 20/06/2017
DOI: 10.18677/EnciBio_2017A74

RESUMO

O propósito deste estudo foi mensurar as áreas queimadas durante a colheita da cana-de-açúcar no município de Itapemirim no estado do Espírito Santo, para os anos de 2006 a 2011, por meio de imagens do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5. Utilizou-se 8 cenas do sistema-sensor Landsat 5-TM e realizou-se o mosaico com duas cenas para cada ano. A análise das áreas queimadas foi mensurada a partir do mapeamento dos focos de incêndio, realizados pela composição entre bandas espectrais e fotointerpretação visual, em uma escala fixa de 1:10.000. Quantificou-se os focos de incêndio, a área total queimada e a porcentagem de área queimada em relação à área colhida, para cada ano-safra. Todas as técnicas realizadas neste trabalho foram desenvolvidas nos *softwares* ENVI 5.0 e ArcGIS 10.4. Verificou-se que o percentual de área queimada, nos anos-safra em estudo permaneceu abaixo do limite previsto na Lei Estadual nº 9.073/2008. Considerando-se apenas a área queimada, nos anos-safra analisados, ocorreu uma redução da queima da palha da cana. Entretanto, em relação à área total colhida, verifica-se que essa redução não foi expressiva em termos percentuais. As técnicas de sensoriamento remoto mostraram-se eficazes, podendo ser utilizadas para o monitoramento da queima da cana-de-açúcar, que continuava em execução, até o ano-safra de 2011.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita de cana-de-açúcar, Focos de incêndio, Imagens orbitais

MONITORING OF THE SUGAR CANE BURN IN ITAPEMIRIM (ES) BY REMOTE SENSING

ABSTRACT

The purpose of this study was to measure the areas burned during the sugar cane harvest in the municipality of Itapemirim in the state of Espírito Santo for the years 2006 to 2011, using images from the *Thematic Mapper* sensor of Landsat 5 satellite. There were 8 scenes of the Landsat 5-TM sensor system and the mosaic was done with two scenes for each year. The analysis of the burned areas was measured by the mapping of the fire sources, performed by the composition between spectral bands and visual photointerpretation, on a fixed scale of 1: 10,000. Fire outbreaks,

the total area burned and the percentage of area burned in relation to the harvested area were quantified for each crop year. All techniques performed in this work were developed in the ENVI 5.0 and ArcGIS 10.4 softwares. It was verified that the percentage of area burned in the crop years under study remained below the limit established in State Law nº 9,073/2008. Considering only the area burned, in the crop years analyzed, there was a reduction in the burning of sugarcane straw. However, in relation to the total area harvested, it can be seen that this reduction was not expressive in percentage terms. Remote sensing techniques proved to be effective and could be used to monitor the burning of sugarcane, which continued to run until the 2011 crop year.

KEYWORDS: Sugarcane harvest, Fire outbreaks, Orbital images.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem grande valor econômico e social para o Brasil, desempenhando papel estratégico tanto na produção de álcool e açúcar como na geração de empregos. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014),

Esta cultura agrícola encontra-se presente em várias regiões do país. Segundo a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil é líder absoluto na produção mundial de cana-de-açúcar. Conforme dados disponíveis, relativos ao ano 2007, a produção brasileira foi de 514 milhões de toneladas, o que corresponde a 144% a mais que a Índia, país que ocupa a segunda posição, e representa 33% da produção mundial, que produziu 1,558 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar (BRASIL, 2014). No município de Itapemirim, localizado no sul do estado do Espírito Santo, a participação da cana-de-açúcar no total da produção agrícola municipal chega a 77,78%, ocupando uma área de 7.000 hectares (MINAGINCOM, 2011).

A queima da palha é utilizada para melhor manuseio e colheita da cana para os funcionários braçais, sendo assim, tornou-se uma prática comum nos canaviais brasileiros. Ocorre geralmente na estação seca do ano e visa a facilitar o trabalho de corte, reduzir o volume de resíduos, controlar pragas, concentrar o açúcar na haste e eliminar animais peçonhentos do canavial.

Da produção brasileira, apenas 25% têm colheita mecanizada e o restante é queimado antes da colheita manual (RIBEIRO & PESQUERO, 2010). Entretanto, a queima da palha da cana emite gases poluentes, que diminuem a qualidade do ar e causam sérios prejuízos à saúde da população (AGUIAR et al., 2009; RIBEIRO & PESQUERO, 2010; ABREU et al., 2011). Assim, o governo vem buscando alternativas para extinguir esta prática (LARA et al., 2005; AGUIAR et al., 2011).

O sensoriamento remoto orbital possibilita a aquisição de informações em nível global de forma sistemática (ICHOKU et al., 2012), tornando os dados provenientes de sensores orbitais a principal fonte de dados para o estudo das queimadas (ICHOKU et al., 2008; HANTSON et al., 2013).

Com a possibilidade de obter rápidas informações com custo baixo a moderado os dados de sensores remotos tornou-se viável para estudos de culturas como a cana-de-açúcar (MAGALHÃES et al., 2013).

O satélite Landsat 5 tem a bordo o sensor *Thematic Mapper* (TM), que obtém imagens do território brasileiro a cada 16 dias e tem sido utilizado em diversos estudos envolvendo o monitoramento de culturas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto (AGUIAR et al., 2009; GIONGO et al., 2010). Quando

utilizadas as técnicas de sensoriamento remoto as áreas colhidas com e sem queima apresentam significativa diferença na resposta espectral das imagens, o que possibilita a identificação e o mapeamento das áreas colhidas com e sem o uso do fogo (AGUIAR et al., 2009).

A cana-de-açúcar é cultivada em grandes extensões, o que facilita a identificação, o mapeamento e o monitoramento, por meio de imagens de sensores remotos (RUDORFF et al., 2010; AGUIAR et al., 2011; SILVA JUNIOR et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2013). Entretanto há uma carência de trabalhos de monitoramento da queima da palha da cana-de-açúcar por meio de técnicas de sensoriamento remoto para o estado do Espírito Santo.

Diante do exposto, o propósito deste estudo foi mensurar as áreas queimadas durante a colheita da cana-de-açúcar, no município de Itapemirim, Espírito Santo, no período de 2006 a 2011, a partir de imagens obtidas com o satélite Landsat 5 TM.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O município de Itapemirim está situado no extremo sul do estado do Espírito Santo (Figura 1), coordenadas geográficas 21° 0' 42" Latitude Sul e 40° 50' 2" Longitude Oeste, a 122 km de distância da cidade de Vitória, capital do estado. Tem 561,882 km² de área e 12 metros de altitude, compreendendo quatro distritos: Itapemirim (sede), Itapecoá, Rio Muqui e Itaipava (IBGE, 2012; CIDADE-BRASIL, 2017).

FIGURA 1 - Localização do município de Itapemirim no estado do Espírito Santo

Fonte: Elaborado pelo primeiro autor.

O clima do município de Itapemirim é Aw (tropical), com temperatura média anual de 23 °C e precipitação média anual de 1.200 mm. A formação vegetal original predominante no município é a Floresta Estacional Semidecidual com elementos arbóreos caducifólios nas áreas que apresentam até 50 m de altitude. Nas áreas com maior altitude está presente a floresta estacional semidecidual submontana. O município se destaca por apresentar expressivas plantações de abacaxi, banana e cana-de-açúcar (IBGE, 2012). A Figura 2 representa a área de estudo, composta pelo mosaico de imagens Landsat 5 TM em composição falsa-cor, mostrando os fragmentos florestais existentes no município e os talhões de cana-de-açúcar analisados.

FIGURA 2 - Localização das áreas de floresta nativa e das plantações de cana-de-açúcar, no município de Itapemirim

Fonte: Elaborado pelo primeiro autor.

Seleção e processamento das imagens

Para a realização deste trabalho foi utilizado o Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) - Campus de Alegre.

O estudo foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu na análise temporal das respostas espectrais da cana-de-açúcar após a queima para colheita, e a segunda etapa consistiu na determinação do número de focos de incêndio e na mensuração da área total e cana-de-açúcar queimada. As técnicas utilizadas para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas nos aplicativos computacionais ENVI® 5.0 e ArcGIS® 10.

Foram selecionadas 8 cenas do satélite Landsat 5 TM, referentes aos anos de 2006 a 2011, com resolução espacial de 30 m, disponíveis no catálogo de imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE). As imagens foram adquiridas no período de estiagem e cobertura de nuvens inferior a 10% (Tabela 1).

TABELA 1 - Sequência cronológica das imagens Landsat 5 TM utilizadas para análise multitemporal da queima da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, ES

Órbita/Ponto	Data da imagem	Elevação do sol (graus)
216/074-075	21/06/2006	38,3118
216/074-075	23/07/2006	46,8884
216/074-075	27/08/2007	46,7668
216/074-075	22/03/2008	35,6188
216/074-075	01/09/2009	31,9248
216/074-075	03/10/2009	50,8237
216/074-075	31/05/2010	32,2670
216/074-075	07/09/2011	52,0868

Fonte: Elaborada pelos autores.

As imagens do satélite Landsat 5 TM apresentam uma extensão de imageamento de 185 km de largura (MOREIRA, 2003). Para esse estudo realizou-se o mosaico de duas cenas por ano-safra devido uma parte da área em estudo ficar fora da área de apenas uma cena. Essas cenas correspondem aos pontos 074 e 075, na órbita 216.

Foi realizado o registro das oito imagens que apresentaram um erro quadrado médio menor que 0,5 pixel, o que é aceitável para esse tipo de estudo (DAY & KHORRAM, 1998). O registro foi feito com base no mosaico ortorretificado *GeoCover 2000* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), disponível no site <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. No registro das imagens, foi feita uma amostragem dos pixels, pelo método *Nearest Neighbor*, utilizando-se o polinômio de primeira ordem. O método *Nearest Neighbor* consiste na interpolação dos valores digitais de cada pixel, mantendo os valores aproximados do pixel central da imagem registrada (CRÓSTA, 1992).

A análise das áreas queimadas foi realizada a partir do mapeamento dos focos de incêndio em áreas de cultivo da cana-de-açúcar, no município de Itapemirim. O mapeamento foi feito por fotointerpretação visual dos focos de incêndio em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A escala empregada foi 1:10.000. Utilizou-se o GPS de navegação Garmin Etrex 30, com a finalidade de localizar os talhões de cana-de-açúcar, na área em estudo. Os procedimentos realizados para análise e mensuração da queima da cana, no município de Itapemirim, ES, estão sintetizados em um fluxograma (Figura 3).

FIGURA 3 - Fluxograma metodológico para a mensuração das áreas de queima da cana-de-açúcar

Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados disponibilizados pelo IBGE (2012), a produção de cana-de-açúcar no município de Itapemirim permaneceu constante, nos anos-safra 2006 a 2010, aumentando apenas em 2011. Verifica-se toda a cana plantada no município é colhida, não havendo sobra (Tabela 2).

TABELA 2 - Produção de cana-de-açúcar no município de Itapemirim, nos anos-safra 2006 a 2011

Ano	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Produção (T)
2006	7.000	7.000	420.000
2007	7.000	7.000	420.000
2008	7.000	7.000	420.000
2009	7.000	7.000	420.000
2010	7.000	7.000	420.000
2011	7.500	7.500	450.000

Fonte: IBGE (2012).

Após a seleção e o processamento digital das imagens, foram determinados: o número de focos de incêndio, a área total queimada e o percentual de área queimada, em relação à área colhida, em cada ano-safra analisado. Os dados encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3 - Número de focos de incêndio, extensão das áreas queimadas e percentual de área queimada na colheita da cana, nos anos-safra 2006 a 2011

Ano safra	Número de focos de incêndio	Área total queimada (ha)	Percentual de área queimada (%)
2006	20	276	3,94
2007	9	56	0,80
2008	7	75	1,07
2009	31	280	4,00
2010	17	208	2,97
2011	12	236	3,37

Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando-se apenas a área queimada, nos anos-safra analisados, ocorreu uma redução da queima da palha da cana. Entretanto, em relação à área total colhida, verifica-se que essa redução não foi expressiva em termos percentuais. A redução da área queimada em 2006 e 2007 carece de explicação, pois a área plantada e colhida permaneceu constante, nos anos-safra 2006 a 2010. Infere-se que não está relacionada à promulgação da Lei nº 9.073, do estado do Espírito Santo, que dispõe sobre a eliminação gradativa da prática da queima, na colheita de cana-de-açúcar.

Essa lei foi promulgada em dezembro de 2008 (ESPÍRITO SANTO, 2008), passando a vigorar em fevereiro de 2009, e a redução da queima da cana ocorreu nos dois anos anteriores. Segundo essa lei, a queima foi proibida de imediato apenas nas áreas de expansão da cultura. Nas áreas já implantadas, havia um prazo até 2019 (nas áreas com declividade até 12%) e até 2020 (nas áreas com declividade maior que 12%) para a eliminação completa das queimadas.

O município de Itapemirim encontra-se em uma região turística do estado do Espírito Santo, próximo às praias de Itaoca, Itaipava e Marataízes, fato que pode ter contribuído significativamente para a não utilização da queima da palha durante a colheita da cana, no município. Outro fato importante a considerar é que a Usina Paineiras S. A. (Figura4), responsável por toda a produção de cana-de-açúcar no município de Itapemirim, prima pela saúde dos seus funcionários e pela qualidade de vida da população, pautando suas atividades em valores sustentáveis, buscando o equilíbrio social, econômico e ambiental.

Essa usina localiza-se em Paineiras, município de Itapemirim, ocupando uma área de 12.000 ha, com 1.600 ha ocupados pela Reserva do Verde Vale do Itapemirim, uma área de Mata Atlântica onde sobrevivem várias espécies ameaçadas de extinção. A usina também promove o reflorestamento das margens dos rios que cortam suas propriedades, tendo plantado mais de 50.000 mudas de espécies nativas da Mata Atlântica, que ela mesma produziu (USINA PAINEIRAS S. A., 2017).

FIGURA 4 – Usina Paineiras S. A.
Fonte: Usina Paineiras S. A. (2017)

AGUIAR et al. (2010) registraram a utilização da queima da palhada em 65,8% da área de colheita de cana-de-açúcar, no estado de São Paulo, em 2006, com redução ao longo dos anos. Entretanto, esses autores registraram aumento de pouco mais de 16% na utilização da queima, em 2010. A explicação proposta pelos autores foi a seca ocorrida no estado, entre maio e agosto de 2010, reduzindo a umidade relativa do ar e favorecendo as queimadas.

NOVAES et al. (2011), analisando a prática da queima na colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, constataram tendência à extinção do uso da queima, em todo o estado, embora no ano-safra 2008 ainda houvesse regiões resistentes à mecanização, com colheita sem queima. O estudo mostrou que, de 2006 a 2008, as regiões mais tradicionais reduziram o uso da queimada em 21%, nas áreas de cultivo antigas, e que apenas 26% das áreas novas aderiram à colheita sem o uso do fogo.

Nas regiões com mecanização consolidada não houve progresso no período estudado, e o percentual de cana colhida crua permaneceu em 66,34%. Os autores também constataram, no ano-safra de 2008, o uso do fogo em 14,18% das lavouras que colhiam sem queima, atribuindo o uso do fogo nessas lavouras à facilitação da colheita.

MATAVELI et al. (2014) registraram a utilização da queima em apenas 34,8% da área de colheita, no estado de São Paulo, em 2011, atribuindo esse valor à expansão da cultura da cana-de-açúcar no estado, associada à utilização da colheita mecânica da cana crua, nas novas áreas de cultivo. Os autores reconhecem que, apesar da diminuição na proporção de áreas colhidas com queima, ocorre um aumento na área total queimada, em determinados anos-safra.

Em nenhum dos estudos citados acima, a redução do uso do fogo foi atribuída à legislação agroambiental vigente. Segundo NOVAES (2010), o modo como a cana-de-açúcar é colhida depende de um conjunto de fatores físicos e econômicos, que conferem complexidade ao processo. No estado de São Paulo, a declividade não é empecilho para a colheita mecanizada, sem queima, pois 96,8% da área cultivada com cana está em regiões com declividade menor que 12%.

A avaliação da colheita, nas safras 2007/2008, aponta para o atendimento ao protocolo agroambiental do estado e para a extinção da queima da cana, no futuro.

A disponibilidade de máquinas para colheita da cana crua, as políticas trabalhistas do estado e fatores econômicos, entre outras variáveis, favorecem a extinção da queima (AGUIAR et al., 2010; AGUIAR et al., 2011a).

As áreas de cultivo da cana-de-açúcar, na região Centro-Sul do Brasil são mapeadas desde 2003, pelo projeto Canasat (RUDORFF et al., 2010). O mapeamento mostrou que a área de cultivo da cana-de-açúcar, nessa região, teve uma expansão de 84%, entre as safras de 2003 e 2012, e que na safra 2012, a porcentagem média de área colhida sem o uso do fogo foi de 72% (CANASAT, 2012).

No estado do Espírito Santo, 70,3% da colheita foi mecanizada, principalmente na região norte capixaba. No sul do estado, onde a topografia acidentada não é favorável à mecanização, a colheita mecanizada foi utilizada em apenas 13,3% da produção (CONAB, 2015). Entretanto, a maior parte da área plantada com cana-de-açúcar, no município de Itapemirim, é plana (Figura 5).

FIGURA 5 – Primeiro autor visitando a área de estudo

Fonte: Acervo do primeiro autor.

A localização dos talhões queimados em cada ano-safra, no município de Itapemirim, é mostrada na Figura 6 (áreas circundadas por uma linha vermelha), onde se verifica que a queima da cana-de-açúcar não é efetuada na mesma área, em anos consecutivos. Segundo AGUIAR (2007), as lavouras colhidas com e sem a prática da queima apresentam resposta espectral distinta e são facilmente identificadas nas imagens de sensoriamento remoto, mesmo quando adquiridas algumas semanas após a colheita. Na Figura 6, as áreas onde a queima é realizada aparecem na cor azul, o que possibilita diferenciá-las das áreas onde a queima não é utilizada, como as áreas representadas em cor verde.

AGUIAR et al. (2008) afirmam que as imagens de sensoriamento remoto associadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm grande potencial para monitorar a atividade da cultura da cana-de-açúcar. Segundo RUDORFF et al. (2004) e RUDORFF & SUGAWARA (2007), o fato de a cana-de-açúcar ser uma cultura semiperene, plantada em áreas de grande extensão, favorece o mapeamento, a identificação e o monitoramento por meio de imagens de sensores remotos a bordo de satélites.

Entretanto, nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, o mapeamento das áreas de cultivo de cana-de-açúcar é dificultado, porque as áreas de cultivo são menores que em outros estados e não existe um padrão, além de apresentar falhas dentro dos talhões, fatores que dificultam o mapeamento (MENDONÇA et al., 2011).

FIGURA 6 – Localização dos talhões queimados nos anos-safra 2006 a 2011
 Legenda: **a.** ano-safra 2006; **b.** ano-safra 2007; **c.** ano-safra 2008; **d.** ano-safra 2009; **e.** ano-safra 2010; **f.** ano-safra 2011

Fonte: Elaborado pelos autores.

RUDORFF & SUGAWARA (2007) afirmam que as imagens de satélite podem ser utilizadas para avaliar a área plantada com cana-de-açúcar, na região Centro-Sul do Brasil, quando processadas em conjunto com um SIG. Os autores também afirmam que a utilização de imagens do satélite Landsat 5 TM com duas datas

distintas possibilita o mapeamento preciso de toda a área canavieira, o que foi feito nesse trabalho. Os autores citados destacam que a interpretação visual é imprescindível para se obter uma estimativa correta e precisa da área plantada com cana. No presente trabalho, a confirmação das áreas plantadas com cana foi feita *in situ* (Figura 6).

As atividades do satélite Landsat 5 TM foram encerradas em janeiro de 2013 (ENGESAT, 2017) e as últimas imagens disponíveis no banco de dados do DGI/INPE são referentes ao ano de 2011 (MAGALHÃES et al., 2013), motivo pelo qual o presente trabalho foi encerrado nesse ano-safra. No segundo semestre de 2013, a colheita da cana-de-açúcar no município de Itapemirim foi automatizada. A Usina Paineiras adquiriu uma colhedora de cana automotriz, duas distribuidoras de mudas, quatro tratores, um caminhão, oito carrocerias transbordo para tratores e caminhões e seis carrocerias de cana picada. Entretanto a mão de obra do campo continua sendo utilizada para o cultivo nas encostas, já que as máquinas são utilizadas apenas em áreas planas (USINA PAINEIRAS S. A., 2017).

CONCLUSÕES

As técnicas de sensoriamento remoto mostraram-se eficazes, podendo ser utilizadas para o monitoramento da queima da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, Espírito Santo.

O percentual de área queimada, nos anos-safra em estudo, permaneceu abaixo do limite previsto na Lei Estadual nº 9.073/2008, que determinava a eliminação da queima em 70% da área colhida, até 2014.

Pode-se inferir que não houve uma relação de proporcionalidade entre o número de focos de incêndio e a área total queimada, que é pequena, em relação à área total colhida. Infere-se que a variação anual da quantidade de área queimada parece ter sido casual.

REFERÊNCIAS

ABREU, D.; MORAES, L. A.; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. A produção da cana-de-açúcar no Brasil e a saúde do trabalhador rural. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 9, n. 2, p. 49-61, 2011. Disponível em: <http://www.anamt.org.br/site/pagina_geral.aspx?pagid=30>.

AGUIAR, D. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; SÁNCHEZ, G. A.; BARROS, M. A.; SUGAWARA, L. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. **Mapeamento da cana colhida no Estado de São Paulo – ano safra 2006/2007**. São José dos Campos: INPE, 2007. 51 p.

AGUIAR, D. A. de; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60/04, p. 375-383, 2008. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br>>.

AGUIAR, D. A. de; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 440-451, 2009. Disponível em <<http://www.engenhariaagricola.org.br/>>.

AGUIAR, D. A. de; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F. da. Monitoramento do modo de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo - Brasil por meio de imagens de sensores orbitais em dois anos-safra. **Revista SELPER**, v. 30, p. 34-43, 2010. Disponível em <<http://selper.info/revista-selper/>>.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sens.**, v. 3, p. 2682-2703, 2011a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/rs3122682>>. DOI: 10.3390/rs3122682

AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; MELLO, M. P.; SILVA, G. B. S.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; CREPANI, E.; VARLEZ, M. A. Monitoramento agroambiental do setor sucroenergético: contribuições do sensoriamento remoto orbital para a certificação ambiental do cultivo da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011b. p. 132-139.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília: MAPA/ACS, 2014. 160 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/anuario_agroenergia_WEB_small.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio (MINAGINCOM). Área colhida de cana-de-açúcar (Dados atualizados em 24/11/2011). Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

CIDADE-BRASIL. **Município de Itapemirim**. Disponível em: <<http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-itapemirim.html>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 1. Brasília: Conab, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 2. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

DAY, X.; KHORRAM, S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 5, p. 1566-1577, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/36.718860>>. DOI: 10.1109/36.718860

DGI – Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE). **Imagens de sensores orbitais**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 28 set. 2012.

ENGESAT. **Landsat 4 e 5 TM**. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagens-de-satelite/landsat/>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

ESPÍRITO SANTO. Assembleia Legislativa. **Lei Estadual n.º 9.073**. Dispõe sobre a eliminação gradativa da prática de queimadas nas colheitas de cana-de-açúcar e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial do Espírito Santo de 05 de dezembro de 2008. Disponível em: <http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/imagens/leis/html/LO9073.html>. Acesso em: 20 jan. 2017.

ESPÍRITO SANTO. Assembleia Legislativa. **Lei Estadual n.º 10.245**. Revoga a Lei Estadual n.º 9.073. Publicado no Diário Oficial do Espírito Santo de 11 de junho de 2014. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/81123608/tj-es-12-08-2014-pg-51>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. de A.; SILVA, B. B.; ROCHA; MEDEIROS, S. R. R.; NAZARENO, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 279–287, 2010. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/>>

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. **Remote Sensing of Environment**, v. 131, n. 1, p. 152-159, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.004>>. DOI: 10.1016/j.rse.2012.12.004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=320280&search=esp%EDrito-santo|itapemirim>>. Acesso em: 11 set. 2012.

ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; WOOSTER, M. J.; REMER, L. A. Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 6, p. 2950- 2962, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.009>>. DOI: 10.1016/j.rse.2008.02.009.

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v. 111, p. 1-28, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.03.007>>. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.03.007.

LARA, L. L.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B.; VICTORIA, R. L.; FERRAZ, E. S. B. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 4627-4637, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.04.026>>. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.04.026.

MAGALHÃES, I. A. L.; XAVIER, A. C.; SANTOS, A. R. Caracterização da dinâmica espectro-temporal-florestal e da cana-de-açúcar no município de Itapemirim, ES. **GEOSUL**, v. 28, n. 56, p. 183-210, 2013. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2013v28n56p183>>. DOI: 10.5007/2177-5230.2013v28n56p183.

MATAVELI, G. A. V.; OLIVEIRA, B. S.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Dinâmica dos focos de queimada em cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre 2008 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 379-392, 2014. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br>>.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

NOVAES, M. R. de. **Análise da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar por meio de modelagem dinâmica espacial**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; AGUIAR, D. A. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 572-583, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300017>>. DOI: 10.1590/S0100-69162011000300017.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 255-271, 2010.

RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M. Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélites. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 241, p. 79-86, 2007.

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: INPE, 2004. 47 p. (INPE-10791-RPQ/759).

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; 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. 21-39, 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes>>.

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 Sens.**, v. 2, p. 1057-1076, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/rs2041057>>. DOI: 10.3390/rs2041057.

SILVA JUNIOR, C. A.; BACANI, V. M.; CARVALHO, L. A. Rotinas de tratamento digital de imagem Landsat 5/TM para a identificação de queimadas em lavouras canavieiras. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1514-1523, 2013. Supplement 1. Disponível em: <www.biosciencejournal.ufu.br/>.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAUJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S.A. e extensão florestal do Governo do Estado do Espírito Santo. **Floresta**, artigo especial, v. 34, n. 2, p. 03-67, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v34i2.2410>>. DOI: 10.5380/rf.v34i2.2410.

USINA PAINEIRAS S. A. Disponível em: <<http://www.usinapaineiras.com.br/site/conteudo.asp?codigo=72>>. Acesso em: 20 jan. 2017.