

## Estudo preliminar do impacto do cultivo da cana-de-açúcar: alterações no albedo e liberação de energia radiativa através das queimadas

Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Francielle da Silva Cardozo<sup>2</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Bruno Rodrigues do Prado<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma Siqueira da Silva<sup>1</sup>  
Egídio Arai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gabriel, bete, prado, bayma, egidio}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Universitário Trindade  
Caixa Postal 476 – 88040-970 – Florianópolis – SC, Brasil  
franciellecadozo@yahoo.com.br.

**Abstract.** The use of biomass burning in agriculture can cause diversified environmental impacts. This method leaves the ground without coverage, increasing the losses of substances by soil erosion necessary for plant nutrition. The sugar-cane crop is one of the most important agricultural activities in Brazil, cultivated since the sixteenth century. The most important sugar-cane products are the ethanol, sugar and electricity, with São Paulo State the largest producer. Although the benefits of sugar-cane to the economy, the environmental impacts such as albedo changes, surface and atmospheric radiation budget, are not entirely understood. The present work aims to analyze the albedo changes in the municipality of Araraquara, located in São Paulo State, during the 1987 and 2008 period, and to compare these changes with the GOES biomass burned fire product. To estimate the albedo values, the Landsat 5 Thematic Mapper sensor bands in the electromagnetic region of visible, near and mid infrared were used. It was found that 15,000t of sugar-cane straw burned in the study area by the use of fire radiative energy acquired from Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm/Geostationary Operational Environmental Satellite (WFABBA/GOES) fire data. Also, the changes in albedo are related to biomass burning episodes and to changes in land use and land cover, as well the change in vegetation stages.

**Palavras-Chave:** biomass burning, in-band reflectance, radiometric rectification, queima de biomassa, reflectância in-band, normalização radiométrica.

### 1. Introdução

O uso e a ocupação da terra é condicionado pelas atividades econômicas vigentes em cada sociedade, e constitui-se no reflexo do modo de produção existente. As atividades industriais e agrícolas são exemplos, e elas afetam não só a economia, mas também são responsáveis por alterações na qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, fatores que interferem diretamente na qualidade de vida da população.

O plantio da cana-de-açúcar é uma das atividades agrícolas mais importantes do Brasil, cultivada desde meados do século XVI. Entre os produtos extraídos da cana-de-açúcar pode-se citar o álcool (etanol), o açúcar e a energia elétrica (Ometto et al., 2005). O plantio geralmente se expande por grandes áreas, o que culmina no isolamento ou até mesmo supressão das poucas reservas de matas que ainda restam, proporcionando o desmatamento de nascentes e áreas de mananciais.

O Estado de São Paulo é o principal produtor nacional de cana-de-açúcar, ocupando 14,73% do uso do solo rural deste Estado, sendo responsável por 58% da produção nacional de álcool e açúcar e por 70% das exportações nacionais (Armas et al., 2005). Para a colheita da cana-de-açúcar utiliza-se a queima da palhada para facilitar a colheita desta cultura. Esse método é condenado há mais de um século pelas consequências negativas provocadas na produtividade da terra originando, por exemplo, a desertificação e a liberação de grandes concentrações de ozônio, monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (EMBRAPA, 1997).

A prática das queimadas na agricultura ocasiona diversificados impactos ambientais. Além de deixar o solo sem cobertura, aumentando as perdas por erosão, elas reduzem substâncias necessárias à nutrição das plantas, consomem grande parte da matéria orgânica e exterminam os microorganismos úteis do solo, diminuindo desta forma a fertilidade e a produtividade das lavouras (Santos et al., 1992).

A destruição da vegetação florestal nativa no Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo, ocorre nos diversos ciclos de implantação de culturas e pastagens. O último deles é o da monocultura canavieira, pois o plantio geralmente se estende até os limites de florestas, unidades de conservação, áreas de proteção ambiental, áreas de preservação permanente e áreas de plantio de outras culturas (Ramos, 1999). As queimadas ainda destroem um número ainda incalculável de espécies da fauna nativa, desde insetos até mamíferos. Além disso, as condições ambientais de trabalho do cortador na cana queimada são piores que na cana crua, pois a alteração no albedo provoca temperaturas superiores a 45° C, onde a fuligem penetra pela pele e pela respiração, circulando na corrente sanguínea do trabalhador (Mirra e Wünsch, 1998; Zamperlini, 1997).

O albedo da superfície está diretamente relacionado com o balanço radiativo, ocasionando variações na temperatura da superfície e com os balanços de energia provocados devidos às mudanças nos fluxos de calor latente e sensível. Ambas as variações alteram significativamente o balanço de energia atmosférica, acarretando em modificações no clima local e global (Pereira et al., 2000; Moraes et al., 2004; Ichoku e Kaufman, 2005).

O presente trabalho pretende comparar a variação do albedo para a mesorregião de Araraquara - SP (Figura 1) nos anos de 1987 e 2008 em função das alterações do uso e ocupação da terra e verificar a energia radiativa do fogo estimada pelo satélite meteorológico GOES nos últimos 7 anos.

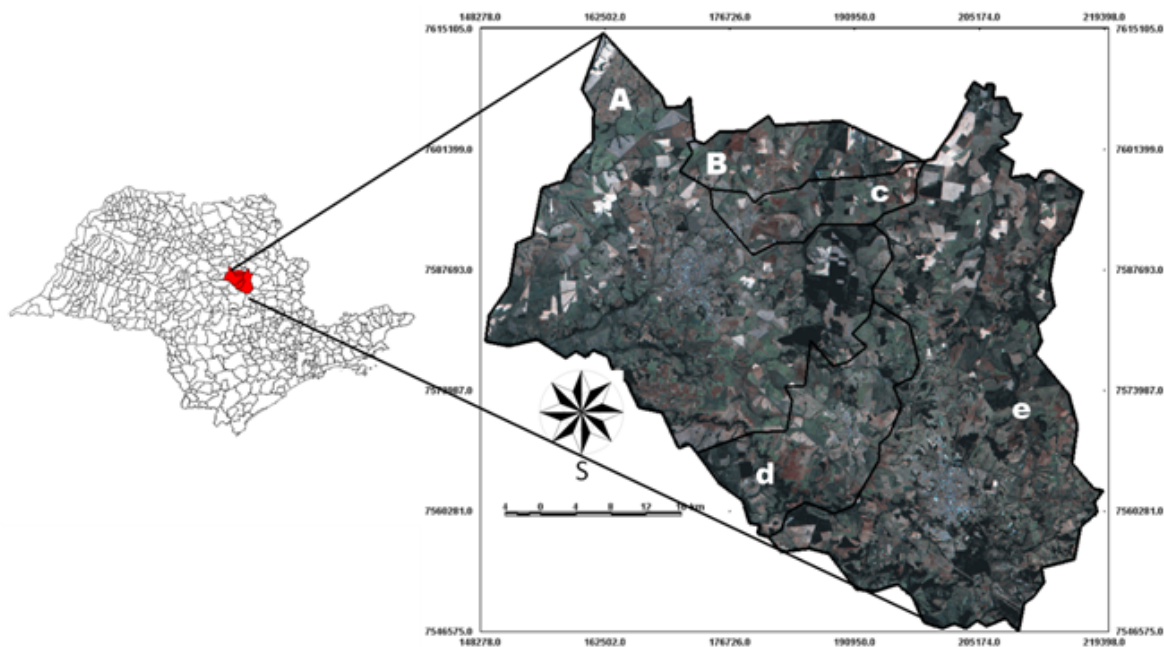


Figura 1. Área de estudo localizada na mesorregião de Araraquara - SP. a) Araraquara; b) Santa Lúcia; c) Américo Brasiliense; d) Ibaté; e) São Carlos. Imagem Landsat 5, obtida em 10/set/2008, órbita/ponto 220/75, composição 1B2G3R.

## 2. Metodologia

No tratamento das imagens de satélite utilizou-se o aplicativo de geoprocessamento denominado Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) (Câmara et al., 1996), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para minimizar as distorções presentes nas imagens, realizou-se a correção geométrica com a aplicação do modelo polinomial de 1° grau e o interpolador vizinho mais próximo. Obteve-se a base de referência através

das imagens do acervo do *Global Land Cover Facility* – GLCF (GLCF, 2008), que são constituídas de dados da série de satélites Landsat (MSS, TM e ETM+), submetidos a procedimentos de ortorretificação.

Para conversão dos números digitais das imagens do Landsat 5/TM, obtidas no período de 10/set/2008, em valores de reflectância de superfície, aplicou-se o modelo de transferência radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Vermote, 1997). Foram adotados como condições iniciais o modelo de aerossóis continental e a atmosfera tropical com 70km de visibilidade. A comparação temporal de dados de séries radiométricas, quando do interesse da caracterização espectral de diferentes alvos, fundamenta-se na compatibilidade radiométrica dos dados coletados ao longo do tempo. Essa compatibilidade pode ser promovida por procedimentos que envolvem a chamada normalização radiométrica, assim como idealizado por Hall et al. (1991) ou por Canty et al. (2004). Nesses procedimentos, recomenda-se que a imagem eleita como referência seja submetida à correção atmosférica, preferencialmente mediante a aplicação de modelos de transferência radiativa e as demais imagens defasadas temporalmente desta referência sejam então normalizadas em relação a ela.

A normalização radiométrica dos dados orbitais fundamentou-se nos procedimentos descritos por Hall et al. (1991), tendo sido definida como referência à imagem do dia 10/set/2008 que, portanto, foi corrigida atmosféricamente, gerando a imagem de referência. Desta forma, as imagens de 15/jul/1987 foram normalizadas radiometricamente, sendo inicialmente convertidas para valores de reflectância aparente, mediante aplicação da formulação preconizada por Chander e Markham (2003).

De posse das imagens normalizadas para as duas datas, o próximo passo consistiu no cálculo dos valores de albedo de superfície. Para tanto, utilizaram-se as fórmulas deduzidas por Liang (2000) para o sensor Landsat 5/TM. Os coeficientes existentes nessas fórmulas foram ajustados e validados por Pereira et al. (2006), a partir de dados de verdade terrestre. As fórmulas ajustadas (Equação 1) é descritas a seguir:

$$\text{Albedo} = 0,42\alpha_1 + 0,153\alpha_3 + 0,44\alpha_4 + 0,1\alpha_5 + 0,084\alpha_7 - 0,0018 \quad (1)$$

onde “ $\alpha_n$ ” representa o valor de reflectância obtido para a banda “n” do sensor TM.

Ainda, os dados de queimadas provenientes do WFABBA/GOES (*Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm/Geostationary Operational Environmental Satellite*) foram utilizados para a extração da energia radiativa do fogo, que representa a parte da energia química liberada na queima de palhada da cana-de-açúcar. O WFABBA é um produto para detecção de anomalias termais/fogo baseado no satélite GOES, disponibilizado com uma alta frequência de observações, numa resolução espacial nominal de 4x4km ao nadir. O algoritmo do WFABBA, assim como no sensor MODIS, utiliza duas bandas para a detecção do pixel com anomalia térmica, uma banda localizada no canal em 3,9 $\mu$ m e outra localizada no canal em 10,7 $\mu$ m (Prins et al., 1998). Deste modo, os dados foram agrupados em grades de 10km e interpolados no software SPRING para uma melhor visualização e representação do total acumulado da energia radiativa do fogo, em MW (10<sup>6</sup> Watts), de 2002 a 2008.

### 3. Resultados

A Figura 2 ilustra as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas entre 1987 e 2008 para os municípios de Araraquara, Santa Lúcia, Américo Brasiliense, Ibaté e São Carlos. É possível visualizar uma acentuada substituição da vegetação nativa por áreas de pastagens ou de agricultura. Segundo Rudorff et al. (2004), desde que o projeto CANASAT iniciou o mapeamento de cana nos Estados brasileiros, os municípios citados apresentavam uma área cultivada de cana-de-açúcar com aproximadamente 92.000 hectares (ha), com destaque para Araraquara que possuía uma área de aproximadamente 39.000ha. Contudo, em 2008 com o aumento na produção de etanol e a exportação de produtos derivados desta cultura, estes municípios expandiram a área cultivada em

aproximadamente 25%, passando para uma área de aproximadamente 115.000ha, com destaque para Araraquara e São Carlos com, respectivamente, 47.000 e 35.300ha.

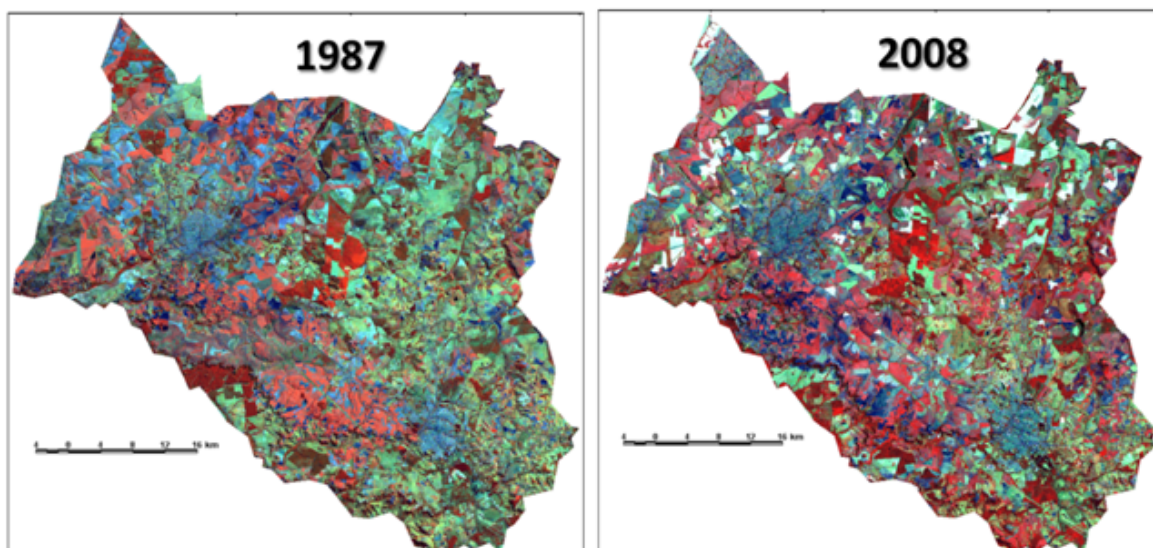


Figura 2. Composição 3B4R5G da área de estudo referente aos anos de 1987 e 2008.

A Figura 3 mostra a diferença entre as estimativas do albedo obtida através das imagens do sensor Landsat 5/TM para os dias 15/jul/1987 e 10/set/2008. Percebe-se que a variação do albedo nestes últimos 22 anos em algumas regiões, manteve-se praticamente constante, ou seja, sem alterações significativas (representada pela cor verde claro). Nestas áreas predominam a cobertura urbana e áreas de floresta nativa. As regiões em tons azulados e laranja-vermelho apresentam variações significativas no albedo, alcançando valores de -0,03 ou 0,10. As maiores diferenças nos valores de albedo são encontradas em áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em área antropizada, destinadas principalmente a atividades agrícolas ou pastos. A alteração do albedo ocasiona uma mudança na absorção de radiação eletromagnética e altera o balanço de energia, os fluxos de calor latente e sensível, o regime de ventos e de chuvas, alterando significativamente as condições do micro-clima da região.

A queima da cana-de-açúcar ocasiona mudanças na resposta espectral dos elementos que constituem o pixel da imagem, alterando, desta forma, o albedo. As áreas de cana-de-açúcar que são queimadas para o início da colheita reduzem significativamente o albedo, já que o solo e a fuligem absorvem a energia eletromagnética. Deste modo, na Figura 4 é possível ver áreas em azul que representam, entre outros elementos, a área de cana-de-açúcar que foram submetidas ao processo de queima da palhada. As áreas em vermelho representam a substituição de fisionomia vegetal por solo exposto, neste caso, sem a queima da palhada.



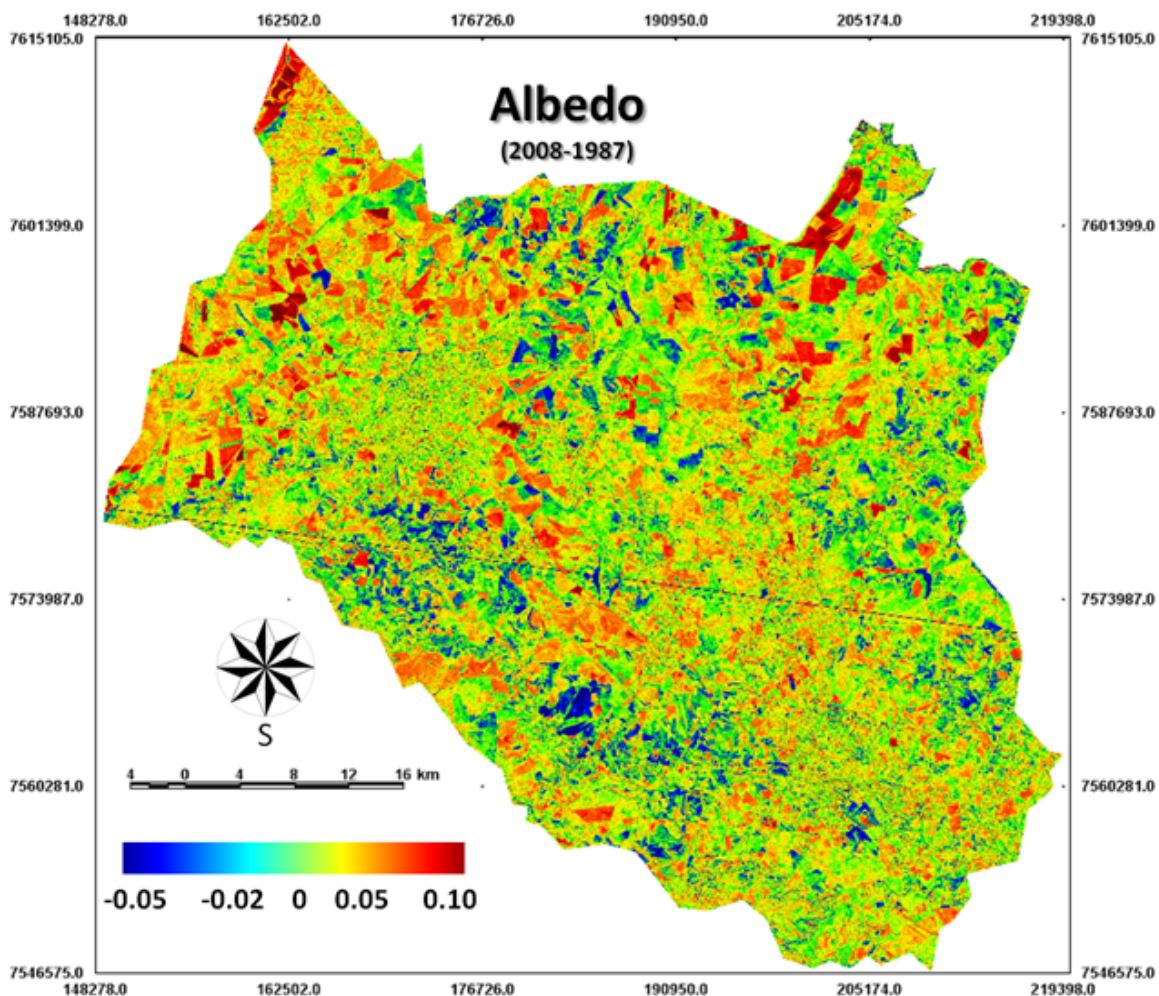


Figura 3. Diferença entre os valores de albedo obtidos em duas datas distintas: 15/Jul/1987 e 10/Set/2008, para a região de Araraquara e municípios vizinhos (SP).

A Figura 4 mostra a distribuição espacial da Energia Radiativa do Fogo (ERF) estimada pelo algoritmo WFABBA/GOES para o período de 7 anos (2002 a 2008). Os dados de queimada provenientes deste satélite, observados a cada 30 minutos, foram integrados em grades de 10km e sua soma inserida no software SPRING, sendo interpolada para facilitar a visualização. Percebe-se que os maiores valores de ERF estão localizados nas regiões noroeste e sudeste da área de estudo, e em muitos casos coincidem com baixos valores de albedo observados na Figura 3. Nestas regiões, a ERF liberada pode ser superior a 2000MW.

Um método para estimar a quantidade de biomassa consumida pela queimada foi proposto por Pereira (2008), que relaciona a ERF com a biomassa queimada a partir da relação entre a radiância liberada no processo de combustão e a quantidade de vegetação consumida (Equação 2).

$$BC = 0,949 * ERF \quad (2)$$

onde BC representa a quantidade de biomassa consumida em  $kg.s^{-1}$  e ERF a energia radiativa do fogo em MW. Desta forma, observou-se que para o período de 2002 a 2008 aproximadamente 15.000 toneladas de palhada foram queimadas, liberando para a atmosfera gases traços e aerossóis.

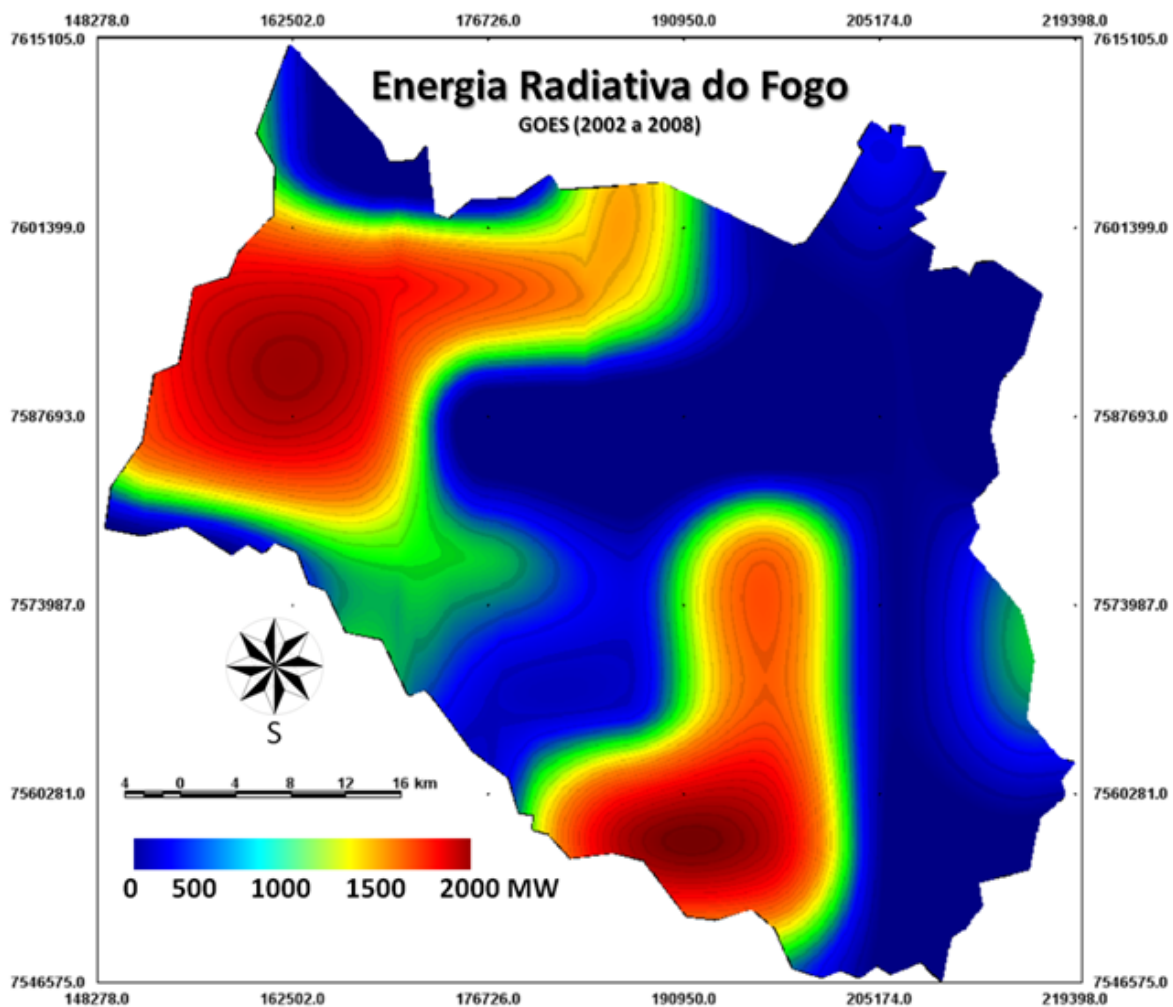


Figura 4. Total da Energia Radiativa do Fogo estimada a partir do satélite geoestacionário GOES entre 2002 e 2008.

#### 4. Conclusões

Ao comparar os dados de alteração do albedo (período de 1987 a 2008) e os dados da Energia Radiativa do Fogo para a região de estudo, percebe-se que a maior incidência da queima de biomassa está relacionada com o surgimento de lavouras e áreas antropizadas, oriundas principalmente das modificações no uso e cobertura da terra. Ainda, a queima da palhada como um método para facilitar a colheita da cana-de-açúcar consome grandes quantidades de carbono, liberando para a atmosfera uma diversificada quantidade de gases traços e aerossóis. Além disso, outros satélites como, por exemplo, o TERRA/MODIS e o SEVIRI/METEOSAT, podem ser utilizados para estimar com uma maior precisão a quantidade de energia liberada e, desta forma, calcular a quantidade de biomassa consumida.

A alteração do albedo da superfície está diretamente relacionada com mudanças no balanço radiativo e no balanço de energia provocada pelas mudanças nos fluxos de calor latente e sensível, podem ocasionar alterações significativas no micro-clima da região. Desta forma, torna-se necessário estudos mais aprofundados para investigar os impactos ambientais ocasionados pela transformação de espécies nativas em culturas de cana-de-açúcar tanto no que diz respeito aos impactos causados na flora e fauna, como também nos fatores meteorológicos que os compõem.

#### Referências Bibliográficas

Armas, E. D.; Monteiro, R. T. R.; Amancio, A. Valler. **Uso de Agrotóxicos em Cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o Risco de Poluição Hídrica.** *Quím. Nova*, Nov./Dec. 2005, vol.28, no. 6, p.975-982.

Câmara, G.; Freitas, U. M.; Souza, R. C. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, vol. 15, n.6, 1996.

Canty, M. J.; Nielsen, A. A.; Schmidt, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.

Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa por Atividades Agrícolas no Brasil**. Relatório 02: Emissão de Gases de Efeito Estufa Provenientes da Queima da Cana-de-açúcar. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental - CNPMA. SP, 1997.

Global Land Cover Facility (GLCF). **Earth Science Data Interface**. University of Maryland. 2008. Disponível em: <<http://www.landcover.org/data/landsat>>. Acesso em: 22 Out. 2008.

Ichoku, C.; Kaufman, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

Hall, F. G.; Strebel, D. E.; Nickeson, J. E.; Goetz, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.

Liang, S., Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.

Mirra, A. P.; Wunsch, V. F. **Parecer Técnico sobre a Exposição aos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos Presentes na Fuligem Proveniente da Queima da Cana-de-Açúcar e Ocorrência de Câncer no Município de Catanduva**. Departamento de Epidemiologia da Faculdade de Saúde Pública da USP. SP, 1998.

Moraes, E. C.; Franchito, S.H.; Brahmananda Rao, V. Effects of biomass burning in Amazonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model, **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. D05109, p. 1-12, 2004.

Ometto, A. R.; Mangabeira, J. A. C.; Hott, M. C. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2297-2299.

Pereira, G. O uso de satélites ambientais para a estimativa dos fluxos de gases traços e de aerossóis liberados na queima de biomassa e sua assimilação em modelos numéricos de qualidade do ar (Dissertação de Mestrado). São José dos Campos: INPE, 2008. 105p.; (INPE-15390-TDI/1407)

Pereira, G.; Moraes, E.C.; Arai, E.; Oliveira, L.G.L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. In: **1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, MS, 11 a 15 de novembro de 2006.

Prins, E. M.; Felz, J. M.; Menzel, W. P.; Ward, D. E. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America, **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24. p. 31821-31825, 1998.

Ramos, P. **Agroindústria Canavieira e Propriedade Fundiária no Brasil**. São Paulo: Editora Hucitec. SP, 1999.

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, 2004. 47 p. **INPE-10791-RPQ/759**.

Santos, D., Bahia, V. G.; Teixeira, W. G. **Queimadas e Erosão do Solo**. Revista Informe Agropecuário. Volume 16. Número 176. Belo Horizonte. MG, 1992.

Vermote, E. F.; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

Zamperlini, G. C. M. **Investigação de Fuligem Proveniente da Queima de Cana-de-Açúcar com Ênfase nos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista. SP, 1997.