

IMPACTOS DA INTRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE O ALBEDO DA SUPERFÍCIE E A REFLECTÂNCIA NO ESTADO DE MATO GROSSO

IMPACTS OF INTRODUCTION OF SUGARCANE CROP OVER SURFACE ALBEDO AND REFLECTANCE IN MATO GROSSO STATE

Guilherme Augusto Verola Mataveli
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
mataveli@dsr.inpe.br

Gabriel Pereira
Universidade Federal de São João del-Rei
pereira@ufsj.edu.br

Elisabete Caria Moraes
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
bete@dsr.inpe.br

Francielle da Silva Cardozo
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
cardozo@dsr.inpe.br

RESUMO

A produção da cana-de-açúcar possui uma dinâmica de expansão acelerada, principalmente devido ao crescimento da demanda por etanol. Um dos vetores atuais dessa expansão é o Estado do Mato Grosso, sendo que já é possível identificar, em algumas áreas pertencentes a esse Estado, cultivos de cana-de-açúcar, localizados principalmente sobre o bioma Amazônia. Apesar do aumento do cultivo da cana-de-açúcar, seus impactos sobre os sistemas terrestre e atmosférico, em especial sobre o albedo, precisam ser entendidos de uma maneira mais aprofundada. Para avaliar as variações no albedo, a análise comparativa de dados multitemporais permite verificar os impactos causados pelas mudanças no uso e cobertura da terra (LULCC), nesse caso, pela introdução da cana-de-açúcar na área de estudo. O objetivo do presente trabalho é avaliar os impactos da introdução da cultura da cana-de-açúcar sobre o albedo, a reflectância na região espectral do visível e do infravermelho próximo e médio na área de estudo utilizando a metodologia proposta por Liang (2000). A variação no albedo encontrada entre as datas abordadas foi significativa, sendo que as maiores diferenças corresponderam a áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar, com os valores de albedo variando até 0,22. **Palavras-chave:** Albedo, cana-de-açúcar, Mato Grosso, LULCC.

ABSTRACT

Sugarcane production shows a dynamic process of expansion, mainly due to the growing demand for ethanol produced from sugarcane. One of the existing expansion vectors of sugarcane crop is Mato Grosso State, where it is possible to identify a few sugarcane crop areas within the State, mainly located over the Amazon Biome. Despite the growing expansion of sugarcane crop, their impacts over terrestrial and atmospheric systems, especially over albedo, need to be better understood. To evaluate changes in albedo, the

comparative analysis of multitemporal data allows verifying the impacts caused by land use and land cover changes (LULCC), in this case, the introduction of sugarcane crop in the study area. The objective of this study is to evaluate the impacts of the introduction of sugarcane crop in albedo, and in visible and near and short wave infrared surface reflectance to the study area using the methodology proposed by Liang (2000). The variation found in albedo between the study period was significant, with the largest differences corresponding to areas where the original vegetation was transformed into anthropic areas, destined for sugarcane crop, where albedo values ranging up to 0.22.

Keywords: Albedo, sugarcane, Mato Grosso, LULCC.

INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais globais são uma das principais preocupações da sociedade, sendo que as atividades antrópicas, ligadas às mudanças no uso e cobertura da terra, afetam diretamente os sistemas terrestre e atmosférico (LIU et al., 2008).

O uso e a cobertura da terra (LULC) são um reflexo das atividades econômicas desenvolvidas pela sociedade, estando a atividade agrícola inserida nesse contexto. O dinâmico processo de substituição do ambiente natural causado pelas LULCC produz modificações significativas nas interações físico-químicas e biológicas da superfície com a radiação eletromagnética (REM), interferindo nos componentes do balanço de radiação, e afetando, conseqüentemente, o clima (PEREIRA et al., 2009).

A cana-de-açúcar, um dos principais produtos agrícolas brasileiros, é produzida em grandes extensões territoriais, sendo que a mesma causa variações no microclima, portanto, para compreender os impactos dessa cultura em uma região, é preciso conhecer suas relações e trocas energéticas com o ambiente (ESTEVES et al., 2012).

O albedo, um dos componentes do balanço de radiação, pode ser definido como a relação entre a quantidade de radiação solar refletida pela superfície terrestre e a quantidade que chega a ela, integrada em todo o espectro solar (PEREIRA et al., 2000). Variações no albedo podem ser ocasionadas por diversos fatores, como mudanças de iluminação solar e crescimento da vegetação, contudo, o principal fator que altera o albedo são as LULCC (HE et al., 2012).

Um dos exemplos das conseqüências da alteração do albedo pode ser visto nas regiões semiáridas, onde o aumento do albedo causa a perda de energia absorvida pela superfície e, logo, a diminuição da precipitação, podendo diminuir também a evaporação; situações similares causadas pelo aumento do albedo também foram encontradas na África Tropical e na Bacia Amazônica (LIANG, 2000). A alteração do albedo modifica as relações de absorção da REM e transforma de maneira direta o balanço de radiação, os fluxos de calor latente e

sensível e o regime de ventos e de chuvas, culminando na alteração das condições do clima da região (PEREIRA et al., 2009).

Apesar de ser um parâmetro importante no balanço de radiação da superfície e utilizado em modelos climáticos e agrometeorológicos, o albedo nem sempre está disponível, visto que sua estimativa não é efetuada de forma rotineira (LEITÃO et al., 2000). Como uma forma de estimar o albedo e detectar suas variações, o sensoriamento remoto dispõe de um conjunto de técnicas que permite identificar essas mudanças ao longo do tempo e estabelecer padrões que indicam como essas mudanças ocorrem e quais suas consequências; o sensoriamento remoto é a única maneira de estimar as alterações no albedo em nível regional e global (TCHUENTÉ et al., 2011).

Os objetivos do presente trabalho consistem na estimativa do albedo da superfície e da refletância nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo e médio (NIR+SWIR), para uma região do Estado do Mato Grosso durante a ausência de cana-de-açúcar (ano de 1991) e com a presença de cana-de-açúcar (ano de 2011); e na construção de mapas de diferença a partir da álgebra de mapas, a fim de apresentar as alterações na estimativa do albedo provenientes da introdução da cultura de cana-de-açúcar, utilizando imagens do sensor orbital *Thematic Mapper* (TM).

CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-SUL

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar e maior exportador de açúcar e álcool do mundo (AGUIAR et al., 2007). Devido ao interesse em diminuir a dependência de combustíveis fósseis e da preocupação ambiental global, o uso do etanol está tomando proporções mundiais, estimulando a expansão do cultivo da cana-de-açúcar. (AGUIAR et al., 2009).

Visando mapear as áreas de cana-de-açúcar por meio de classificação digital e interpretação visual de imagens de sensoriamento remoto orbital na região Centro-Sul do Brasil, foi criado em 2003 o Projeto Canasat, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em conjunto com a União da Indústria Canavieira (UNICA), com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) (AGUIAR et al., 2009).

De acordo com a figura 1, gerada a partir dos dados disponibilizados pelo Projeto Canasat (2013), a área de cana-de-açúcar cultivada na região Centro-Sul do Brasil vem crescendo desde que o projeto teve início, com um aumento superior a 127% entre as safras

2003/04 e 2012/13. Esse aumento deve-se à crescente demanda de etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, especialmente depois do ano de 2003, com a popularização dos carros bicompostíveis no Brasil (RUDORFF et al., 2010).

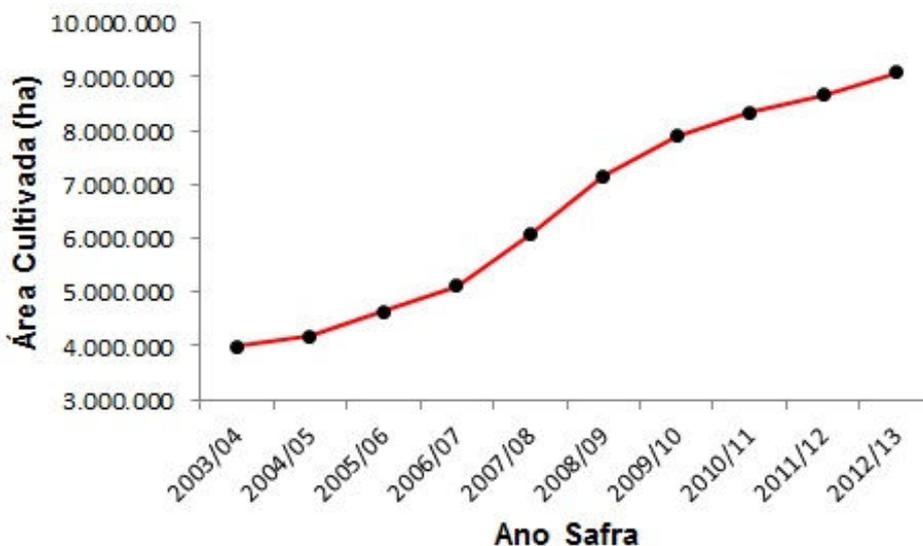


Figura 1. Aumento da área de cana-de-açúcar cultivada na região Centro-Sul do Brasil nos anos de 2003 a 2013.
Fonte: Projeto Canasat (2013).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a um recorte de duas cenas Landsat-5 pertencentes à Órbita 220 Ponto 071, definido pelo retângulo envolvente delimitado pelas coordenadas 15°32'54"S; 58°15'38"W e 15°15'33"S; 57°52'47"W, que está inserido no município de Lambari D'Oeste, no Estado de Mato Grosso, onde foi identificado o cultivo de cana-de-açúcar na safra 2011/12 de acordo com o mapeamento do Projeto Canasat (2013).

A figura 2 apresenta a localização da área de estudo no Estado de Mato Grosso em relação aos biomas existentes. Nota-se que a área de estudo está inserida, na sua maioria no bioma Amazônia, porém uma pequena parte está no bioma Pantanal.

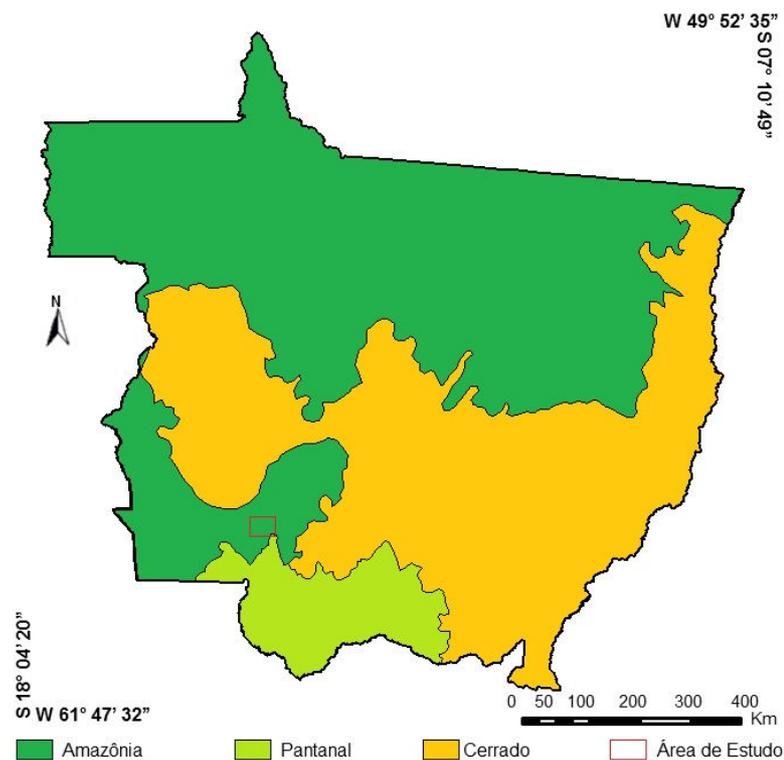


Figura 2. Localização da área de estudo em relação aos biomas do Estado do Mato Grosso. Fonte: IBGE (2013)

Para a estimativa do albedo, foram utilizadas duas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 em épocas diferentes, uma do mês de julho de 1991 (correspondente à ausência da cana-de-açúcar) e outra do mês de julho de 2011 (correspondente à presença da cana-de-açúcar). Também foram utilizados os dados do Projeto Canasat a fim de delimitar as áreas do cultivo de cana-de-açúcar na área de estudo.

METODOLOGIA

O processamento dos dados seguiu as etapas descritas a seguir, realizadas no Sistema de Informações Georreferenciadas (SPRING) (CÂMARA et. al., 1996), desenvolvido pelo INPE.

A metodologia escolhida para estimar o albedo foi proposta por Liang (2000), que obteve para diferentes sensores como, por exemplo, o AVHRR, TM, MODIS e ETM+, equações de transformação da reflectância de superfície de diferentes bandas espectrais em albedo da superfície, reflectância no visível e reflectância no NIR+SWIR. Os coeficientes existentes nessas fórmulas foram ajustados e validados por Pereira et al. (2007), e são descritos nas Equações 1, 2 e 3:

$$\text{Albedo} = 0,420\alpha_1 + 0,153\alpha_3 + 0,440\alpha_4 + 0,100\alpha_5 + 0,084\alpha_7 - 0,0018 \quad (1)$$

$$\text{Reflectância}_{\text{visível}} = 0,564\alpha_1 + 0,417\alpha_2 + 0,306\alpha_3 \quad (2)$$

$$\text{Reflectância}_{\text{NIR+SWIR}} = 0,755\alpha_4 + 0,231\alpha_5 + 0,126\alpha_7 - 0,003 \quad (3)$$

em que $\alpha_1 \dots \alpha_7$ são os valores de reflectância de superfície das respectivas bandas do sensor TM.

Para estimar a reflectância da superfície, foi utilizado o modelo de correção atmosférica Segunda Simulação de Sinais de Satélites no Espectro Solar (6S) (VERMOTE et al., 1997), nos valores de reflectância aparente convertidos a partir do número digital de cada elemento de cada uma das imagens do TM. Foram adotadas como condições iniciais para a aplicação do modelo 6S a visibilidade de 70 quilômetros, a atmosfera tropical e o modelo de aerossóis continental.

A construção dos mapas de diferença consistiu-se em uma operação algébrica entre Geocampos, aplicada em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) implementada no SPRING.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 mostra a área de estudo para o dia 18 de julho de 1991 e 25 de julho de 2011. Nestas imagens é possível notar a grande modificação ocorrida entre os 20 anos, principalmente em relação às LULCC, a partir do desmatamento da região e da inserção do cultivo da cana-de-açúcar. Sendo assim, os resultados obtidos para as duas imagens foi significativamente distinto, em que as maiores diferenças nos valores do albedo e de reflectância no visível e no NIR+SWIR foram encontradas em áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em áreas antropizadas, destinadas principalmente às atividades agrícolas.

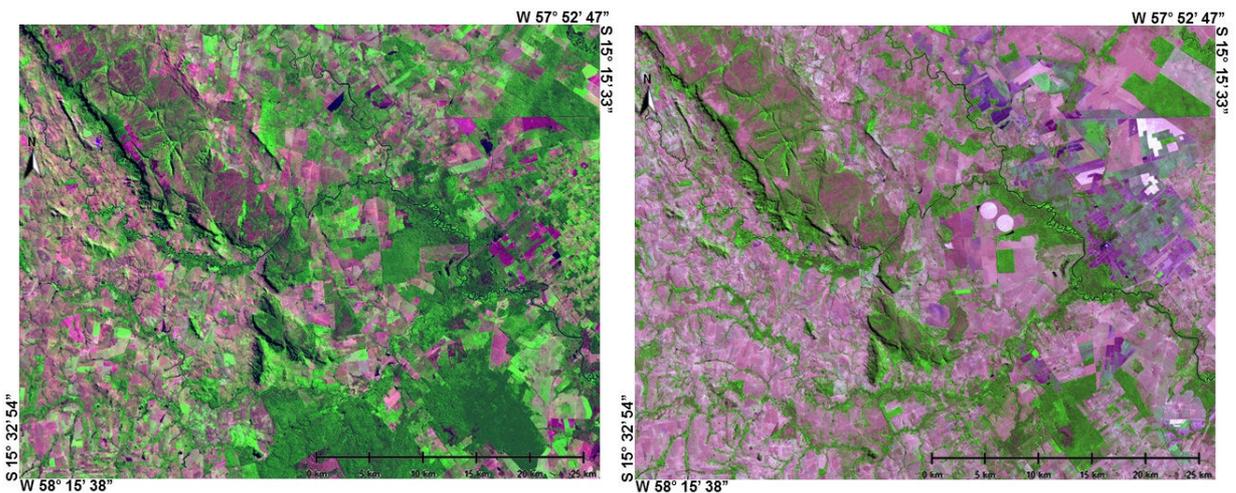


Figura 3. Área de estudo nas proximidades de Lambari D'Oeste, MT (Imagem TM/LANDSAT-5, composição 3B4G5R nos dias 18-07-1991 e 25-07-2011, respectivamente).

A área de estudo é constituída de diversas formações vegetais. Entre as principais coberturas da superfície nesta região, destacam-se a savana, savana estépica, floresta estacional decidual e semi-decidual, entre outras. Nas estimativas de albedo, reflectância no visível e reflectância no NIR+SWIR (figuras 4, 5 e 6, respectivamente), percebe-se que os alvos possuem comportamentos espectrais diferenciados, pois a REM ao interagir com os mesmos podem sofrer processos de reflexão, absorção e transmissão de acordo com as propriedades físico-químicas e biológicas destes (STEFFEN et al., 1996).

Como a área de estudo é composta basicamente por formações vegetais, estas irão influenciar significativamente o sinal captado pelo sensor orbital. De um modo geral, na reflectância espectral da vegetação podem-se citar três fatores dominantes: a) Pigmentos da folha; b) estrutura celular; e c) conteúdo de água (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Os pigmentos encontrados nas folhas (clorofila, carotenoide, xantofilas) atuam como absorvedores da REM na região espectral do visível (radiação fotossinteticamente ativa). Algumas componentes das folhas são praticamente transparentes à REM na região do infravermelho próximo (NIR) como, por exemplo, a epiderme e a cutícula. Entretanto, ao incidir nas células do mesófilo esponjoso e nas cavidades de ar presentes no interior da folha, a REM sofre múltiplos espalhamentos e refração, aumentando, desta forma, a reflectância nesta faixa espectral. Ainda, na região espectral do infravermelho médio (SWIR) a resposta espectral é dominada principalmente pela absorção de REM das moléculas de água, sendo evidentes bandas de absorção próximas a 1400 nm, 1900nm e 2500nm.

O solo exposto, representado por áreas onde a cana-de-açúcar já havia sido colhida em 2011 e áreas de outras culturas que também já haviam sido colhidas, apresentou valores elevados para o albedo e para a reflectância no visível e no NIR+SWIR quando comparados

com os demais alvos. Para o solo exposto, os valores obtidos dependem da interação da REM com os atributos do solo, tais como o material de origem, a matéria orgânica, os óxidos de ferro, a mineralogia e a granulometria (DEMATTE e GARCIA, 1999).

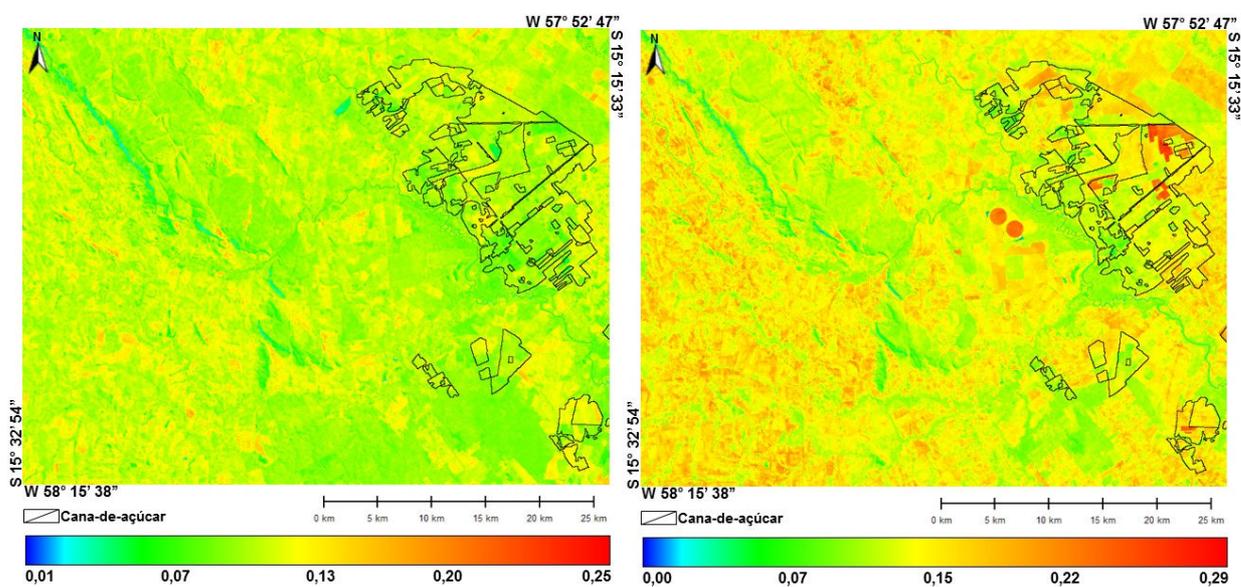


Figura 4. Estimativas de albedo para a área de estudo em 1991 e 2011, respectivamente.

A figura 4 mostra que as áreas que foram substituídas por cana-de-açúcar apresentaram no ano de 1991 valores próximos a 0,09 para o albedo; em 2011, com a substituição da formação original pela cultura de cana-de-açúcar, os valores aumentam significativamente, passando para aproximadamente 0,15. Entre as causas desta variação identifica-se a substituição de áreas de gramíneas e florestas por solo exposto, já que a imagem de 2011 correspondia ao final da colheita da cana-de-açúcar na área de estudo. Ainda, percebe-se a influência da palhada da cana-de-açúcar sobre o solo exposto na composição do sinal captado pelo sensor; a palhada origina uma alta reflectância em todo o espectro eletromagnético, aumentando os valores de albedo, que chegaram aos valores próximos de 0,29.

De acordo com André et al. (2010), a tendência dos valores de albedo é de aumentar com o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar devido ao aumento da cobertura do solo, sendo evidente a relação entre o albedo e o Índice de Área Foliar (IAF).

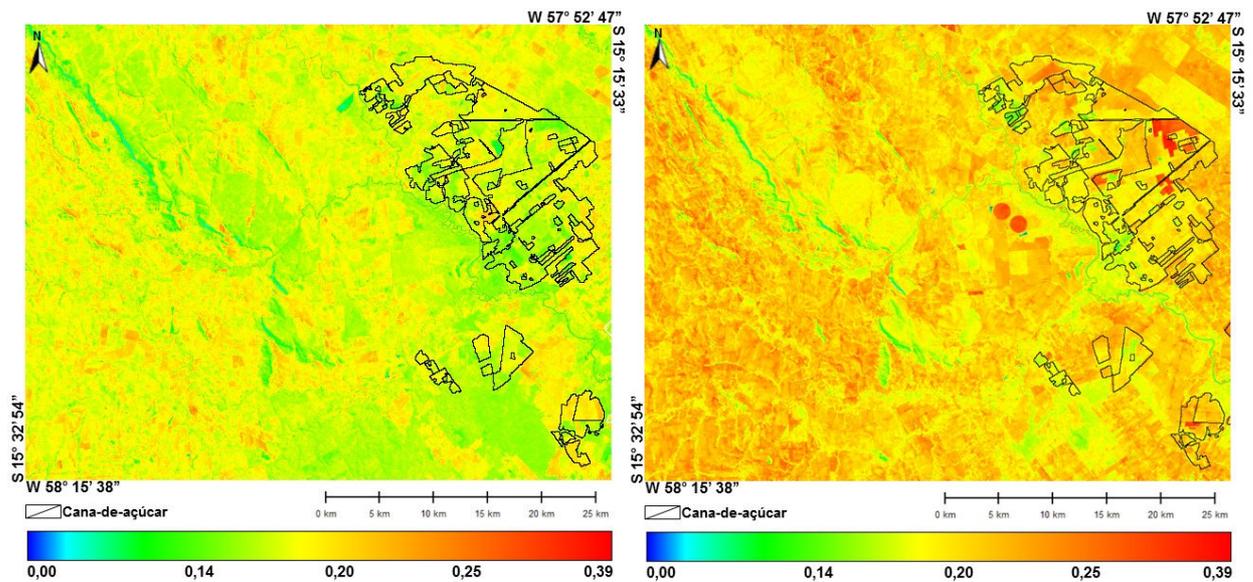


Figura 5. Estimativas de reflectância na região espectral NIR+SWIR para a área de estudo em 1991 e 2011, respectivamente.

A reflectância na região espectral do NIR+SWIR (figura 5) foi consideravelmente maior do que a reflectância na região espectral do visível em toda a área de estudo, já que a mesma é composta basicamente por formações vegetais e a vegetação possui uma reflectância maior no NIR+SWIR. A reflectância nessa faixa espectral para as áreas de cana-de-açúcar foi, aproximadamente, de 0,16 em 1991 e 0,23 em 2011. Áreas onde a colheita é feita de forma mecânica e a palhada fica exposta sobre o solo apresentaram as maiores estimativas, chegando a atingir 0,39.

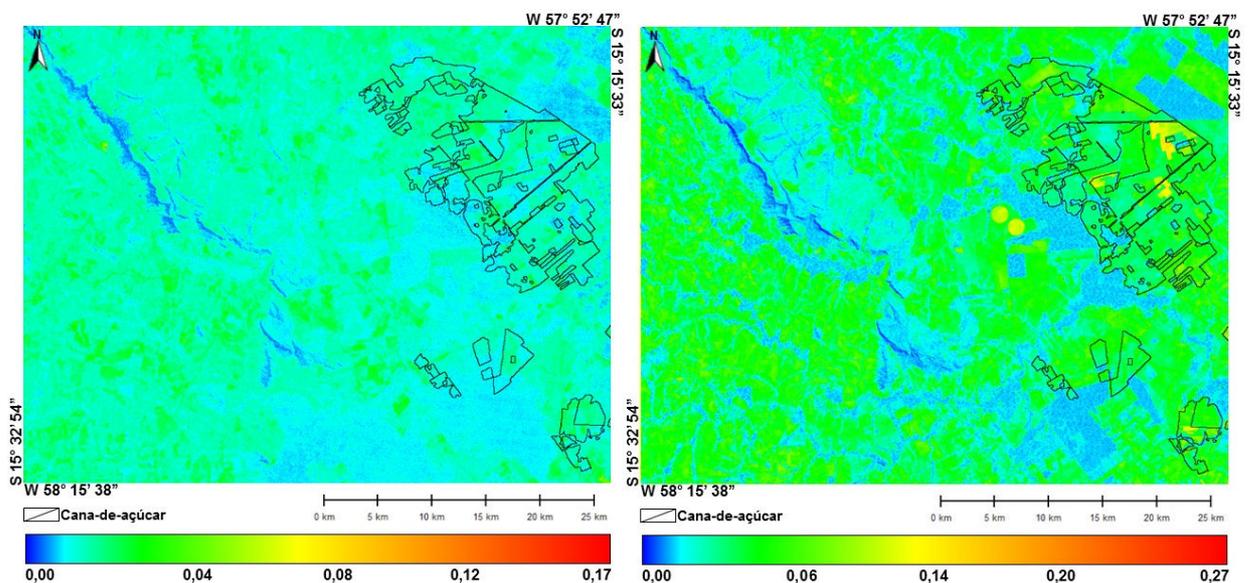


Figura 6. Estimativas de reflectância na região espectral do visível para a área de estudo em 1991 e 2011, respectivamente.

No visível (figura 6), a reflectância apresentou-se baixa, como esperado. Porém, comparando as duas datas, nota-se uma reflectância espectral maior no visível em 2011 para toda a área de estudo, sendo esse resultado um efeito das LULCC. Para a cana-de-açúcar, os

valores aproximados de reflectância no visível foram de 0,02 em 1991 e 0,06 em 2011, pertencendo também os maiores valores às áreas onde a cana-de-açúcar (0,14) havia sido colhida e a palhada se encontrava sobre o solo.

Os mapas de diferença entre as duas datas são apresentados na figura 7. As áreas em azul representam áreas onde as estimativas diminuíram, as áreas entre o verde e o azul representam áreas sem diferença ou onde a diferença foi pequena (sem LULCC) e as áreas em vermelho representam um aumento nas estimativas. Levando em consideração as áreas de cultivo de cana-de-açúcar, as áreas em tons de vermelho na figura 7 representam áreas de cana-de-açúcar que foram submetidas ao processo de queima da palhada e áreas de solo exposto decorrentes da colheita da cana-de-açúcar. A queimada causa alterações na resposta espectral dos alvos e, conseqüentemente, modifica o albedo. As áreas de cana-de-açúcar que são queimadas para o início da colheita reduzem significativamente o albedo, já que a fuligem e o solo exposto, mais escuro, absorvem a energia eletromagnética (PEREIRA et al., 2009).

A alteração nos valores de albedo e reflectância, mesmo que sem influência antrópica, modifica o balanço de energia na superfície e os fluxos de calor latente e sensível em nível regional, já que o balanço de energia é diretamente dependente do albedo (HE et al., 2012). Considerando um modelo simples de balanço, assumindo que a REM é transparente aos gases atmosféricos, que a atmosfera de uma camada atua como um corpo negro e que a irradiância espectral seja a mesma para ambos os períodos, a variação do albedo em 10% pode ocasionar um acréscimo de aproximadamente 8°C na temperatura de equilíbrio da superfície terrestre (CARDOZO et al., 2009).

As LULCC alteram, portanto, o albedo na superfície. Esse aumento indica que a superfície, após a substituição da formação vegetal natural, retém menos energia e, com isso, uma menor quantidade de energia encontra-se disponível para os processos atmosféricos que se iniciam próximos à superfície, como, por exemplo, convecção (LIBERATO, 2011).

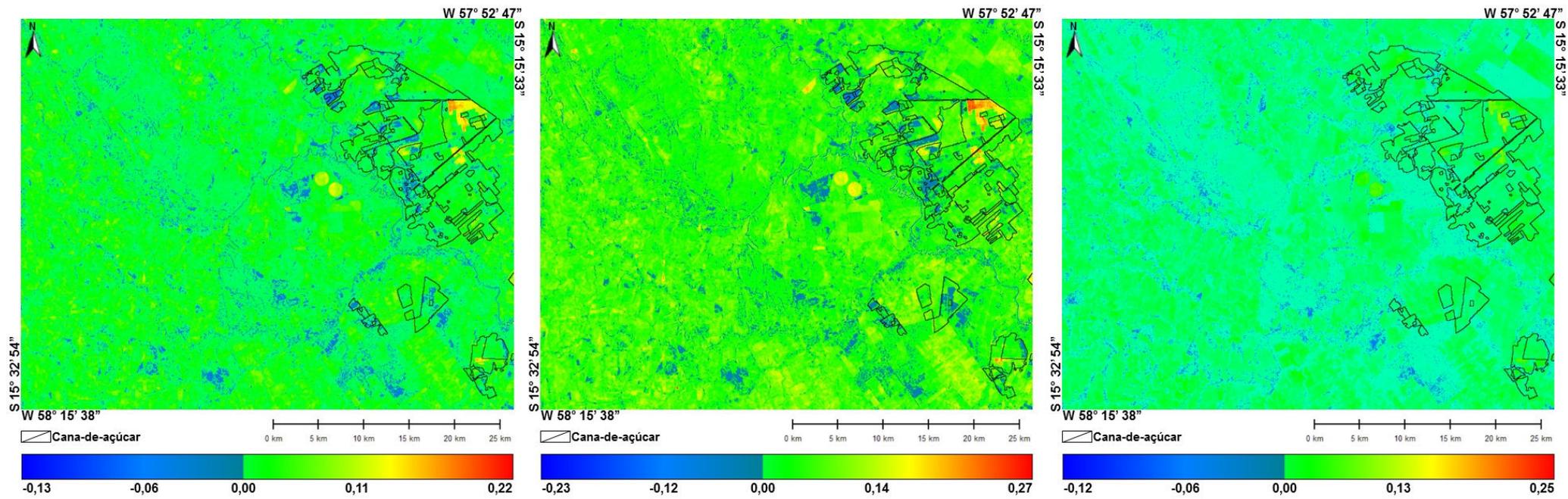


Figura 7. Mapas de diferença das estimativas de albedo, reflectância NIR+SWIR e reflectância no visível, respectivamente.

CONCLUSÕES

O método proposto por Liang (2000) se mostrou eficiente na estimativa dos valores de albedo, reflectância no NIR+SWIR e reflectância no visível, uma vez que foi possível fazer uma relação direta entre as LULCC observadas na interpretação visual das imagens e as variações nas estimativas. Ainda assim, é necessário realizar validações em campo a fim de se obter estimativas mais precisas.

A variação do albedo e da reflectância durante o período do estudo foi significativa, sendo que as maiores diferenças encontradas ocorreram em áreas onde a cobertura vegetal original foi substituída pela atividade agrícola, como é o caso da cana-de-açúcar.

A queima da palhada como um método para facilitar a colheita da cana-de-açúcar e a exposição do solo ao fim da colheita são fatores que possuem relação direta com as modificações no albedo, uma vez que alteram a resposta espectral dos alvos. Desta forma, é necessário realizar estudos mais aprofundados a fim de compreender os impactos ocasionados pela transformação da cobertura vegetal natural em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, tanto sobre a atmosfera quanto sobre a biosfera.

Ainda, são necessárias análises mais prolongadas sobre os impactos da inserção da cana-de-açúcar na área de estudo assim como em todo o Estado do Mato Grosso, já que esta prática é recente e os cultivos encontrados ainda são de pequeno porte, quando comparados com grandes produtores como o Estado de São Paulo.

Por fim, deve-se também realizar estudos mais aprofundados sobre a variação do albedo causada pelas LULCC no clima da área de estudo, já que variações no albedo geram impactos no balanço de radiação na superfície e nos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Daniel Alves de; SILVA, Wagner Fernando da; FEITOSA, Flávia de Fonseca; GONÇALVES, Fábio Guimarães; RIZZI, Rodrigo; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor. Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2231-2238, 2007.

AGUIAR, Daniel Alves de; ADAMI, Marcos; RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; SUGAWARA, Luciana Miura; FREITAS, Ramon Morais de. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 5547-5554, 2009.

ANDRÉ, Romisio Geraldo Bouhid; MENDONÇA, José Carlos; MARQUES, Valdo da Silva; PINHEIRO, Francisca Maria Alves; MARQUES, José. Aspectos energéticos do desenvolvimento da

- cana-de-açúcar. Parte 1: Balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 25, n 3, 375-382, 2010.
- CÂMARA, Gilberto; SOUZA, Ricardo Cartaxo Modesto; FREITAS, Ubirajara Moura; GARRIDO, Juan. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modelling. **Computer & Graphics**. v. 20, n 3, 395-403, 1996.
- CANASAT: mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>> Acesso em: 26 de abril de 2013.
- CARDOZO, Francielle da Silva; PEREIRA, Gabriel; SILVA, Fabrício Brito; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; MORAES, Elisabete Caria. Análise da estimativa da refletância e albedo em áreas alagadas do Pantanal . In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 2, Corumbá, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 392-401, 2009.
- DEMATTÊ, José Alexandre M.; GARCIA, Gilberto J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, 327-342, 1999.
- ESTEVES, Barbara dos S.; SOUSA, Elias F. de; MENDONÇA, José C.; LOUSADA, Lidiane de L.; MUNIZ, Rodrigo de A.; SILVA, Rosely M. da. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 7, n 4, 663-370, 2012.
- HE, Tao; LIANG, Shunlin; WANG, Dongdong; WU, Hongyi; YU, Yunyue; WANG, Jindi. Estimation of surface albedo and directional reflectance from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations. **Remote Sensing of Environment**. v. 119, n 1, 286-300, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 de abril de 2013.
- LEITÃO, Mário de Miranda V. B. R.; OLIVEIRA, Gertrudes Macario de. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 4, n 2, 214-218, 2000.
- LIANG, Shunlin. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**. v. 76, n 1, 213-238, 2000.
- LIBERATO, Ailton Marcolino. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 – TM em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista de Geografia (UFPE)**. v. 28, n 1, 110-119, 2011.
- LIU, Ronggao; LIANG, Shunlin; HE, Honglin; LIU, Jiyuan; ZHENG, Tao. Mapping incident photosynthetically active radiation from MODIS data over China. **Remote Sensing of Environment**. v. 112, n 3, 998-1009, 2008.
- PEREIRA, E.B., MARTINS, F.R., ABREU, S.L., COUTO, P., STUHLMANN, R.; COLLE, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. **Solar Energy**. v. 68, n 1, 91-107, 2000.
- PEREIRA, Gabriel; MORAES, Elisabete Caria; ARAI, Egídio; OLIVEIRA, Luís Gonçalves Longo de. Estudo preliminar da estimativa da refletância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 59, n 1, 55-61, 2007.
- PEREIRA, Gabriel; CARDOZO, Francielle da Silva; MORAES, Elisabete Caria; PRADO, Bruno Rodrigues do; SILVA, Gustavo Bayma Siqueira da; ARAI, Egídio. Estudo preliminar do impacto do cultivo da cana-de-açúcar: alterações no albedo e liberação de energia radiativa através das queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 325-332, 2009.
- PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; AGUIAR, Daniel Alves de; SILVA, Wagner Fernando; SUGAWARA, Luciana Miura; ADAMI, Marcos; MOREIRA, Maurício Alves. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**. v. 2, n 4, 1057–1076, 2010.

STEFFEN, Carlos Alberto; MORAES, Elisabete Caria; GAMA, Fábio Furlan. Radiometria óptica espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. São José dos Campos: INPE, Tutorial 43 p., 1996.

TCHUENTÉ, Armel Thibaut Kaptué; ROUJEAN, Jean-Louis; BÉGUÉ, Agnès; LOS, Sietse O.; BOONE, Aaron A.; MAHFOUF, Jean-François; CARRER, Dominique; DAOUDA, Badiane. A New Characterization of the Land Surface Heterogeneity over Africa for Use in Land Surface Models. **Journal of Hydrometeorology**. v. 12, n 6, 1321-1336, 2011.

VERMOTE, Eric F; TANRÉ, Didier; DEUZÉ, Jean Luc; HERMAN, Maurice; MORCRETTE, Jean-Jaques. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 35, n 3, 675-686, 1997.

Recebido para publicação em 05/05/2013

Aceito para publicação em 09/07/2013