TRAJETÓRIAS DE MUDANÇA NO USO E COBERTURA DA TERRA E SEU IMPACTO NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE MODIS EM ÁREAS DE CERRADO

Alana Almeida de Souza[1], Lênio Soares Galvão[2]

[1,2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil,
[1]alana.almeida@inpe.br, [2]lenio.galvao@inpe.br

RESUMO

O presente estudo delineou um experimento para avaliar o impacto das conversões de uso do solo mais frequentes no bioma Cerrado na temperatura de superfície (LST, do acrônimo em inglês). Por meio de um modelo de regressão, verificou-se que as conversões de cerrado para pastagem tendem a um aumento de 1,8ºC na média da LST, enquanto as conversões de cerrado para agricultura aumentam a LST em 1,44ºC. A análise de uma série temporal da LST pré- e pós-desmatamento corroborou as estimativas obtidas. Métodos de detecção de mudanças aplicados às séries temporais da LST permitiram quantificar um aumento de cerca de 1ºC na LST pós-desmatamento.

Palavras-chave **—** Temperatura de superfície da terra, cerrado, agricultura, pastagem, transições de uso da terra, LST MODIS**.**

ABSTRACT

The present study designed an experiment to evaluate the effects of the most frequent land use conversions on land surface temperature (LST) in the Cerrado biome. Using a regression model, we verified that the savanna-to-pasture conversions increased the LST by 1.8°C, while the savanna-to-cropland conversions increased the LST by 1.44°C. The LST time series analysis before and after deforestation corroborated the estimates obtained. Change detection methods applied to the LST time series were able to quantify an increase close to 1ºC in the post-deforestation period.

Key words **—** *Land surface temperature, cerrado, cropland, pasture, land use transitions, LST MODIS.*

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocupa mais de dois milhões de km², cerca de 25% do território brasileiro, constituindo um dos maiores e mais ricos ambientes de savana do mundo. Apesar da importância da vegetação natural do bioma, suas terras relativamente planas atraíram o desenvolvimento de atividades agropastoris, em especial a partir da década de 70, quando programas de governo incentivaram a ocupação da região, transformando-a em uma nova e importante fronteira agrícola brasileira. Essa transformação modificou os aspectos socioeconômicos regionais e tornou o Brasil um dos principais produtores mundiais de *commodities* às custas de conversões de uso da terra.

Cerca de 48% da cobertura original de cerrado foi desmatada ou sofreu algum tipo de degradação, restando somente 52% preservado. O mapeamento do uso e cobertura vegetal do cerrado para o ano de 2013 revelou que cerca de 30% da vegetação nativa foi convertida para pastagens e cerca de 12% se tornou áreas agrícolas [1]. Contudo, os impactos climáticos locais dessas conversões ainda são pouco conhecidos. Neste contexto, os dados de sensoriamento remoto possibilitam o estudo local dos efeitos climáticos das conversões de uso e cobertura da terra, seja pelas possibilidades de mapeamento das conversões, seja pela disponibilidade de produtos derivados, como evapotranspiração, temperatura de superfície, emissividade, calor latente dentre outros.

Mapeamentos abrangentes do uso e cobertura vegetal do cerrado são escassos. Isso ocorre devido à grande diversidade florística e estrutural existente, às variações fenológicas perante o regime de chuvas, a inter-relação deste ecossistema com outros biomas em contatos sutis e, ainda, à ocorrência de queimadas e seus efeitos. Todos estes fatores dificultam a discriminação entre a vegetação natural e as áreas de pastagem e agricultura com uso de imagens de satélite. Visando sanar uma importante lacuna de informações, o Projeto "Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado – TerraClass Cerrado" mapeou o cerrado brasileiro com o uso de 121 cenas do OLI/Landsat-8 segundo uma legenda hierárquica que permitiu a análise de importantes transformações entre coberturas e usos da terra para o ano de 2013. Esse mapeamento foi executado por meio de uma parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Universidade Federal de Goiás (UFG). O mapeamento constitui o único dado oficial de cobertura e uso do cerrado atualmente existente.

A temperatura de superfície é um parâmetro chave na física dos fluxos de energia que ocorrem entre a superfície e a atmosfera em escala regional e global. Ela é uma função da evaporação e, portanto, depende do tipo de cobertura do solo, da disponibilidade de umidade, da presença de vegetação fotossinteticamente ativa, da velocidade do vento e da rugosidade da superfície [2]. A temperatura de superfície é, portanto, um *proxy* para o fluxo de calor da superfície terrestre e um parâmetro importante para avaliar mudanças

climáticas [3]. Além disso, a temperatura de superfície tem sido utilizada em análises de mudanças no uso e cobertura da terra, em monitoramentos de seca, estimativas de umidade e em modelos meteorológicos globais. Um dos produtos de destaque sobre a temperatura de superfície obtidos por sensoriamento remoto é o derivado do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O produto MOD11A2 permite a obtenção da temperatura de superfície com uma frequência diária e pixel de 1Km, com erro inferior a 0,5ºC em áreas tropicais [4].

No presente estudo foi avaliado o impacto das principais conversões de cobertura e uso da terra (cerrado/pastagem, cerrado/agricultura, pastagem/agricultura) na temperatura de superfície de uma região do Cerrado por meio do uso de dois produtos derivados de sensoriamento remoto: mapeamento de uso e cobertura vegetal e temperatura de superfície derivado do sensor MODIS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no estado do Mato Grosso e abrange uma área de 45.784 Km^2, compreendendo a totalidade do município de Novo São Joaquim e parte dos municípios de Água Boa, Barra do Graças, Campinápolis, General Carneiro, Nova Nazaré, Nova Xavantina, Paranatinga, Pontal do Araguaia, Poxoréu, Primavera do Leste, Santo Antônio do Leste e Tesouro (Figura 1). Segundo os dados do TerraClass Cerrado [5], as principais classes existentes são a agricultura anual, a pastagem e remanescentes de vegetação natural de cerrado. Os maiores fragmentos de vegetação nativa existentes estão dentro das terras indígenas Areões, Chão Preto, Merure, Parabubure, Sangradouro/Volta Grande, São Marcos e Ubawawe.

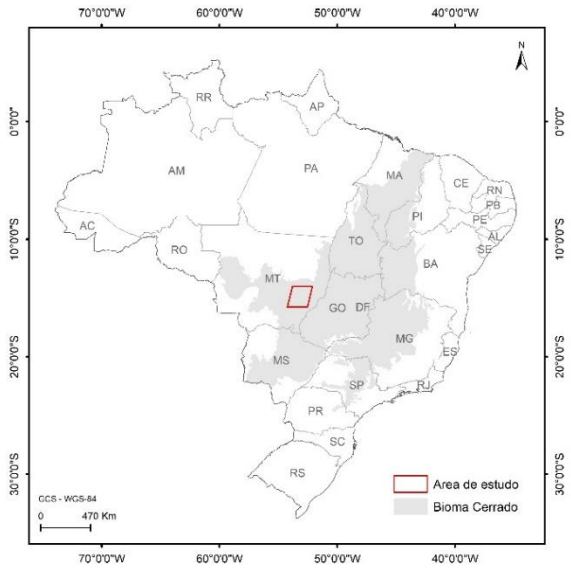

Figura 1. Localização da área de estudo.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen e Geiger. A temperatura média anual é 24 °C e a a pluviosidade média anual é 1680 mm. O período mais seco vai de julho a agosto, quando a precipitação fica inferior a 40 mm/mês (climate-data.org).

Os dados utilizados no presente estudo foram os dados de temperatura de superfície da coleção 6 do MODIS/Terra (MOD11A2), de agora em diante referidos como LST, do acrônimo em inglês *land surface temperature*. Os dados de uso do solo são do TerraClass Cerrado. A acurácia da LST é de 0,4ºC [4]. A exatidão global do mapa de uso e cobertura é de 80,2% [5].

Utilizando espaço celular de 1 x 1 Km, coincidente com os pixels de LST, foram calculadas as diferentes proporções de cerrado, agricultura e pastagem nas células, as quais foram registradas como atributos do espaço celular. Cada um dos 45.784 pixels de LST também foram associados à correspondente célula no espaço celular. A quantificação dos impactos diretos das três principais conversões de uso do solo (cerrado/ agricultura, cerrado/ pastagem, pastagem/ agricultura) na temperatura de superfície foi realizada por meio de análise de regressão, baseada na fração entre as diferentes transições de uso e a média da LST para o ano de 2013. Para o ajuste do modelo de regressão a porcentagem de cobertura foi tratada como a variável independente e a LST como variável dependente. Para a análise de regressão foram consideradas 11.179 células representando as transições de cerrado para agricultura, 20.364 células representando a transição de cerrado para pastagem e 2.821 células com diferentes proporções entre agricultura e pastagem. Essa análise permitiu avaliar o impacto de conversões de uso do solo específicas sobre a LST.

Com a finalidade de validação sobre a existência ou não de mudanças na LST com as conversões de uso do solo, foi obtida uma série temporal do período de janeiro de 2000 a dezembro de 2016 de regiões desmatadas em 2004, tendo como referência os dados do PRODES Cerrado recentemente publicados [6]. As médias mensais da LST dessas áreas formaram uma série temporal que foi posteriormente decomposta nas componentes sazonal e tendência, usando Loess ("*Locally weighted scatterplot smoothing*"). O sinal da LST original e das componentes tendência e sazonalidade foram submetidos à análise de detecção de ponto de mudança baseados na média e escala da LST por meio do uso dos testes estatísticos CUSUM e Mood, respectivamente [7,8]. A decomposição de séries temporais é importante para a minimizar a influência de ruídos, além de facilitar a interpretação dos resultados das análises de detecção de mudanças. Conforme destaca [9], mudanças na componente tendência indicam distúrbios ou mudanças abruptas, como fogo e desmatamento, enquanto mudanças na componente sazonal indicam mudanças fenológicas em resposta às variações intra-anuais de temperatura e precipitação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as conversões de uso do solo alteraram localmente a temperatura de superfície (valor $p < 0,01$), em especial a conversão de cerrado para pastagem, a mais frequente no bioma. Conforme o modelo de regressão, as conversões de cerrado para pastagens tenderam à um aumento de 1,8ºC na média da LST. As conversões de cerrado para agricultura aumentam a LST em 1,44ºC. Já a temperatura média de áreas de agricultura tende a ser 1ºC inferior às áreas de pastagem (Figura 2). Esses resultados corroboram o resultado de estudo anterior para a região do Alto Xingu, transição entre o Cerrado e a Amazônia, onde foi estimado que as conversões dos remanescentes florestais para pastagens (80%) e agricultura (20%) aumentariam em 1,7ºC a LST [10].

A série temporal da LST de áreas desmatadas está apresentada na Figura 3a; já sua decomposição nas componentes sazonal e tendência é apresentada nas Figuras 3b e 3c, respectivamente. A análise da série temporal da LST pré- e pós- desmatamento corroborou as estimativas da análise de regressão. Por meio da análise de detecção de mudanças foi possível verificar mudanças significativas nos valores médios da LST tanto do sinal original, quanto da componente tendência. Foi detectado um aumento de 1,12ºC na média da LST das áreas desmatadas. Quando a componente tendência foi avaliada, um aumento de 0,82ºC foi detectado. Esse valor ligeiramente menor se justifica pelo fato de que a componente tendência constitui um sinal suavizado pela técnica de decomposição de sinal por Loess. A componente sazonal não apresentou detecção de mudanças quanto aos seus valores médios.

Quando a escala da LST foi avaliada, somente a componente tendência apresentou mudança, a qual foi detectada em junho de 2004, o que está de acordo com o período do desmatamento. O sinal original e a componente sazonal não apresentaram mudanças.

Esses resultados destacam a importância da decomposição de séries temporais para isolar as mudanças sazonais, ocasionadas por mudanças fenológicas, das mudanças graduais ou abruptas, ocasionadas por práticas de manejo, degradação ou distúrbios, como desmatamento. Os resultados mostraram que foi possível detectar corretamente o período em que ocorreu desmatamento devido à mudança na escala da LST em sua componente tendência. O uso que sucedeu o desmatamento pode ter, no entanto, componente sazonal semelhante (não mudança na componente sazonal), como é o caso das pastagens.

Mapeamentos futuros do bioma, em especial para discriminação das fitofisionomias campestres, savânicas e florestais, possibilitarão caracterizar com maior precisão os impactos das conversões de cobertura e uso da terra sobre a LST. É esperado que a conversão das fitofisionomias de maior porcentagem de cobertura do dossel tenha maior impacto no aumento da LST, mas a magnitude desse impacto precisa ser melhor caracterizada.

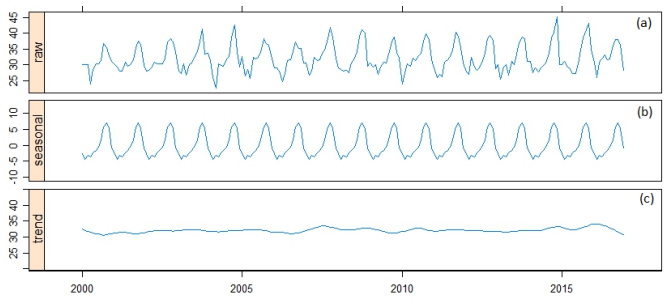

Figura 3. Série temporal (2000-2016) da LST das áreas desmatadas (a) e sua respectiva componente sazonal (b) e tendência (c).

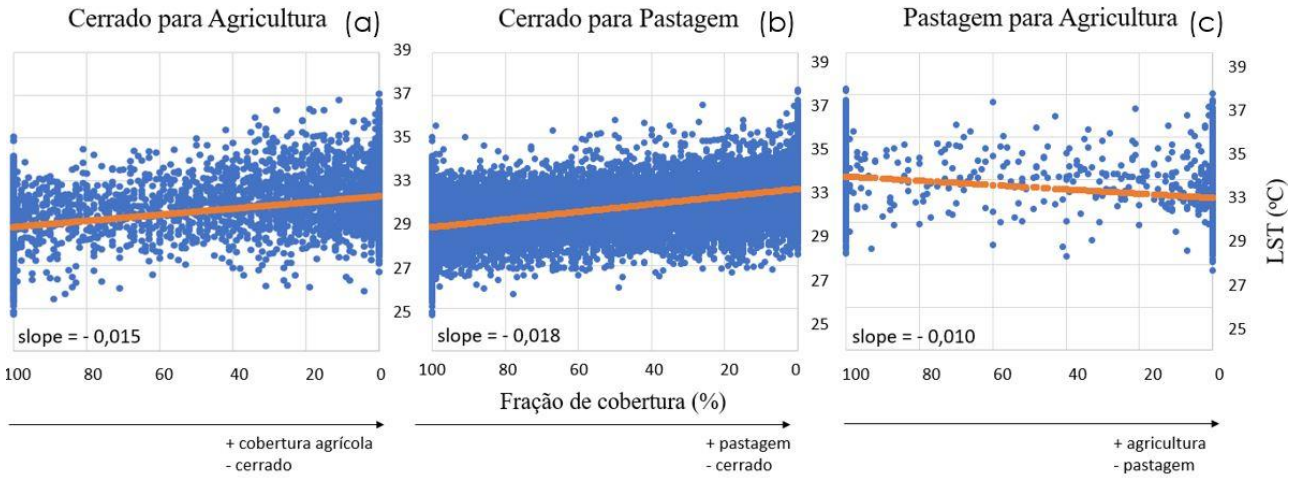

Figura 2. Modificaçõess na LST em função das mudanças nas frações de cobertura da terra para as três transições de uso analisadas: cerrado para agricultura (a), cerrado para pastagem (b) e pastagem para agricultura (c). Pontos em azul constituem as medidas analisadas e em laranja o resultado do modelo de regressão.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou avaliar os impactos das principais conversões de uso do solo na temperatura local de superfície de uma região de cerrado. Conforme o modelo de regressão, o tipo de conversão de uso do solo mais frequente no bioma, qual seja, a conversão de áreas de cerrado para pastagem, é justamente a de maior impacto na variável climática estudada. Estimamos que essa conversão tende a um aumento de 1,8ºC na média anual da LST. As conversões de cerrado para agricultura aumentam a LST em cerca de 1,44ºC. As áreas de pastagens são cerca de 1ºC superior às áreas de agricultura. Contudo, nas áreas agrícolas a amplitude da variação intra-anual é maior (dados não mostrados). Estas variações são superiores a incerteza do produto estimada em torno de 0,5ºC.

A análise da série temporal da LST pré- e pós-desmatamento foi concordante com as tendências do modelo de regressão, sendo possível a detecção de mudanças significativas na média da LST de cerca de 1ºC após o desmatamento. Além disso, o método de detecção de mudança, na escala da LST proposto, detectou corretamente o período em que houve o desmatamento, indicando seu potencial para identificação de mudanças no uso e cobertura da terra.

Como perspectiva futura, recomenda-se estudos sobre o potencial das séries temporais de dados de sensoriamento remoto e de suas variações intra- e inter-anuais para melhorar os mapeamentos do uso e cobertura do solo e a detecção de mudanças em áreas sujeitas à forte variação sazonal, como é o caso do bioma Cerrado.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

[1] Brito, A. et al. “Metodologia da detecção do desmatamento no bioma Cerrado. Mapeamento de áreas antropizadas com imagens de média resolução espacial”. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. 19 p.

[2] E. F. LAMBIN & D. EHRLICH (1996): The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis, International Journal of Remote Sensing, 17:3, 463-487.

[3] Srivastava, P.K., Majumdar, T.J., Bhattacharya, A.K., 2009. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM-f termal infrared data. Adv. Space Res. 4, 1563e1574.

[4] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q and Li Z-L 2004 Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature Int. J. Remote Sens. 25 261–74.

[5] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. “Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013”, MMA/SBF, Brasília: MMA, 67 (pp.), 2015.

[6] Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE). 2018. “Mapeamento anual do desmatamento - PRODES Cerrado”. Disponível em:< www.dpi.inpe.br/fipcerrado>. Acesso em: 10 de julho de 2018.

[7] Ross, G. J., Tasoulis, D. K., Adams, N. M. (2011) – A Nonparametric Change-Point Model for Streaming Data, *Technometrics*, 53(4).

[8] Killick R and Eckley IA (2014). “Changepoint: An R package for changepoint analysis.” *Journal of Statistical Software*, 58(3), pp. 1–19.

[9] R. B. Cleveland, W. S. Cleveland, J.E. McRae, and I. Terpenning (1990) STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*, 6, 3–73.

[10] Silvério D. V. et al. Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: the overlooked non-GHG forcing. Environ. Res. Lett. 10, 104015 (2015).