

VARIAÇÃO DA TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE EM UMA SÉRIE TEMPORAL DO *SENSOR MODIS*¹

Mateus Kazuichi YAMAMOTO²

Graduando em Tecnologia em Geoprocessamento/FATEC-Campus Jacaréí

Egidio ARAI³

Tecnologista Sênior da Divisão de Sensoriamento Remoto/INPE-São José dos Campos

Arley Ferreira SOUZA⁴

Professor em Projetos em Geoprocessamento/FATEC-Campus Jacaréí

Yosio Edemir SHIMABUKURO⁵

Pesquisador Titular da Divisão de Sensoriamento Remoto/INPE-São José dos Campos

RESUMO

O sensor MODIS é capaz de obter informações no comprimento de onda na faixa do espectro eletromagnético termal que possibilita a geração de produtos de temperatura da superfície da Terra (LST) que são disponibilizados gratuitamente. As plataformas TERRA e AQUA possuem a bordo o sensor MODIS, sendo possível verificar temperaturas nos períodos diurnos e noturnos. Calculando a tendência de variação da temperatura de amostras de floresta e desflorestamento em uma série temporal, encontrou-se o aumento da temperatura. Utilizando as informações da série temporal disposta no *site Series View*, é realizado o cálculo da tendência da temperatura de cada amostra através de um *script* em linguagem R. Nota-se o aquecimento em todas as amostras analisadas, independente se as amostras são de floresta ou desflorestamento. Outra análise realizada foi com os dados de desflorestamento do projeto PRODES, comparando se houve a compatibilidade nos anos de desflorestamento com as informações da série temporal de EVI2 do *Series View*. As atividades antrópicas analisadas na floresta, no caso, desflorestamento influenciaram muito no clima da área de estudo.

Palavras-chave: MODIS. Tendência de variação. Temperatura terrestre. Floresta. Desflorestamento. Série temporal.

¹ Trabalho realizado sob orientação do Dr. Egidio Arai, coordenador do projeto Laboratório virtual: visualização, disponibilização e integração de dados de sensoriamento remoto, no âmbito do PIBITI (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação/CNPq) – Edital PIBITI/INPE-2016, Processo: 113935/2016-1.

² Endereço eletrônico: yamamotokazuichi@gmail.com

³ Endereço eletrônico: egidio@dsr.inpe.br

⁴ Endereço eletrônico: arley.souza@fatec.sp.gov.br

⁵ Endereço eletrônico: yosio@dsr.inpe.br

Introdução

Os satélites TERRA e AQUA fazem parte do programa *Earth Observing System* (EOS), sendo financiadas pelo programa ESE (*Earth Science Enterprises*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (ARAI *et al.*, 2017).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) encontra-se a bordo das plataformas TERRA e AQUA, lançados respectivamente em 1999 e 2002 (ANDERSON *et al.*, 2003). O sensor MODIS foi projetado para satisfazer três áreas de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espacial e espectral selecionadas para diversas necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global diariamente (JUSTICE, 2002).

A existência de produtos MODIS, desde o ano 2000 da plataforma TERRA e 2002 da plataforma AQUA, comprova a longevidade destes sensores e, com a resolução temporal quase que diária, é possível realizar estudos detalhados com as séries temporais dos seus produtos. Um estudo realizado e consagrado é a série temporal de índice de vegetação EVI-2 (FREITAS *et al.*, 2011), implementados no *site Series View*, onde é possível visualizar e adquirir dados referentes às mudanças do uso do solo analisando o índice de vegetação.

Segundo Nobre, Assad e Oyama (2005), a estruturação de uma série temporal de temperatura da superfície pode contribuir em distintas pesquisas como: no estudo realizado por Jiménez-Muñoz *et al.* (2013), sobre o recente aquecimento na floresta amazônica, no estudo das ilhas de calor em áreas urbanas (CUNHA; RUFINO E IDEIÃO, 2009; SOUZA, 2012) e no estudo da distribuição de temperatura sobre o bioma Cerrado (SANTOS, FERREIRA JR E FERREIRA, 2011).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho é a análise de uma série temporal de temperatura dos produtos MYD11A2 e MOD11A2 (WAN, 1999), verificando a variação da temperatura e suas tendências em toda a série temporal, nos alvos propostos da área de estudo.

Materiais e métodos

A área de estudo corresponde à região do Parque do Xingu, abrangendo os municípios de Marcelândia, União do Sul, Feliz Natal, Querência, São João do

Araguaia e São José do Xingu, todos os municípios dentro do Estado do Mato Grosso, sendo mostrada na figura 1.

Figura 1- Localização da área de estudo



Fonte: Autores.

Os produtos de cada plataforma podem ser identificados pelos prefixos MOD para os produtos provindos do TERRA e MYD do AQUA. Sendo assim, o estudo optou pela utilização de ambas plataformas, pois seus horários de passagem pelo continente sul-americano são distintos, contendo assim uma variação de temperatura significativa entre seus horários. A plataforma TERRA passa pela linha do Equador às 10h30min no horário local, realizando sua coleta diurna e novamente às 22h30min (coleta noturna). Enquanto a plataforma AQUA tem sua passagem diurna cruzando a linha do Equador às 13h30min no horário local e novamente a 01h30min (coleta noturna).

Para compor a série temporal, foram obtidas composições de imagens com resolução temporal de 8 dias da temperatura da superfície, que são calculadas com os valores médios (sem nuvem) do produto diário dos sensores MODIS de ambas plataformas com resolução espacial de 1 km (ARAI *et al.*, 2017).

O algoritmo *day/night Land Surface Temperature* utilizado para o cálculo do produto foi desenvolvido por Wan e Li (1997), exclusivamente para o MODIS,

validadas a partir de imagens MAS (*MODIS Airborne Simulator*) e medidas de campo realizadas em 1996-1998 (WAN *et al.*, 1998).

A coleção de produtos MODIS utilizada foi a coleção 5, com dados calibrados com base em medições *in situ* de mais de 50 estudos de caso medidos a céu aberto, apresentando variações termais entre -10°C e 58°C (WAN, 2008; COLL *et al.*, 2005).

O período analisado neste trabalho é de 29 de agosto de 2002 a 28 de agosto de 2016, para os dados do satélite AQUA, e de 28 de agosto de 2000 a 28 de agosto de 2016, para os dados do satélite TERRA. Um fator a ser considerado são as estações do ano, ao decorrer delas, encontramos diferentes temperaturas e diferentes características, como exemplo a precipitação; com sua escassez, as temperaturas tendem a ser mais elevadas. Sendo assim, para mantermos uma coerência nos períodos de início e fim, foi proposta a estação de inverno em ambos os casos, mantendo-se a permanência na sazonalidade na série temporal e contendo o início e fim em uma mesma data.

Como os dados originais para análises são fornecidos em graus Kelvin, foi necessária uma conversão de valores para transformar os dados de graus Kelvin para graus Celsius:

$$TC = (VP * 0,02) - 273,15$$

Onde:

0,02 é o fator fornecido na descrição do produto,

TC é o valor do pixel em graus Celsius, e

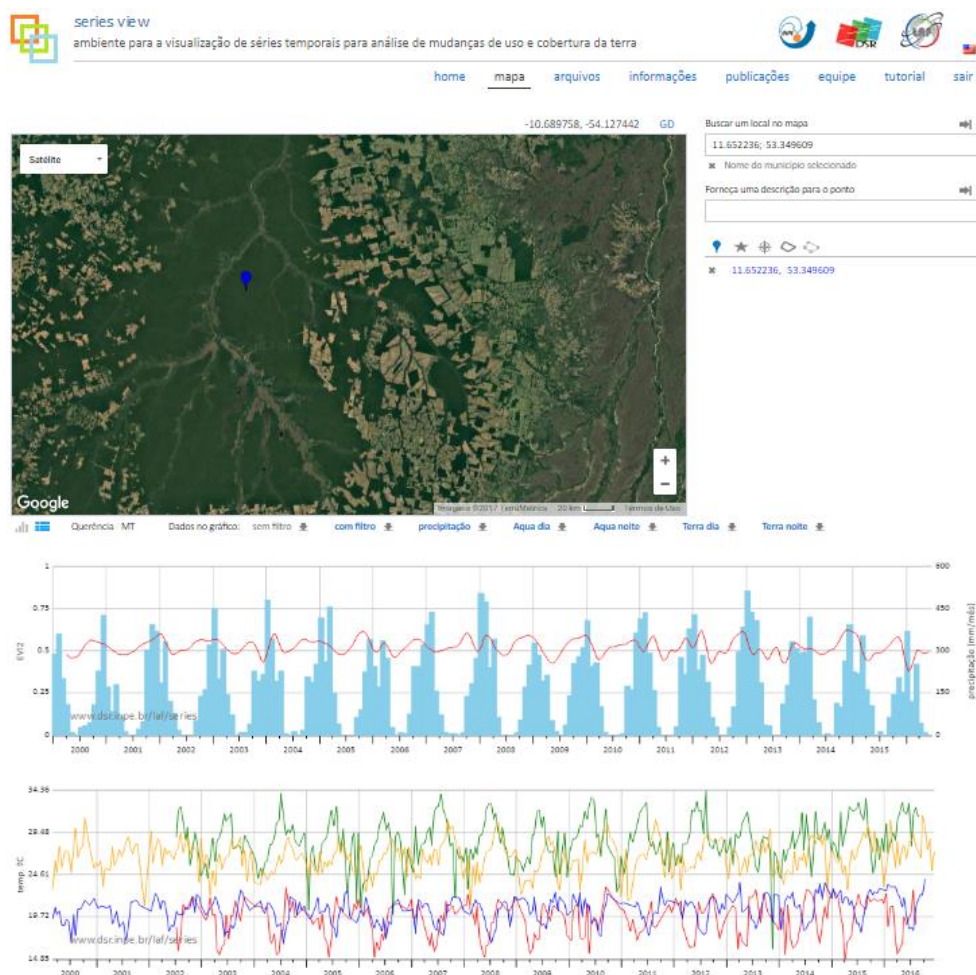
VP é o valor original do pixel em graus Kelvin.

Foi realizada uma compatibilidade de dados das composições de 8 dias de temperatura com as composições de 16 dias da série temporal do índice de vegetação EVI-2 da plataforma *Series View* do laboratório virtual do LAF/INPE (Laboratório de Agricultura e Floresta) (FREITAS *et al.*, 2011). Para isso, foram geradas composições de 16 dias da temperatura da superfície calculando a média entre duas composições de 8 dias, ou somente em uma composição, quando não houve observação na outra composição.

Foi feita a implementação das séries temporais de temperatura da superfície terrestre do sensor MODIS, na mesma plataforma, em que Freitas *et al.* (2011) utilizaram para disponibilizar os dados de precipitação mensal TRMM e índice de

vegetação EVI-2. A partir da implementação dos dados na plataforma *Series View*, mostrada na figura 2, as séries de índices de vegetação, de precipitação acumulada e de temperatura da superfície terrestre podem ser visualizadas.

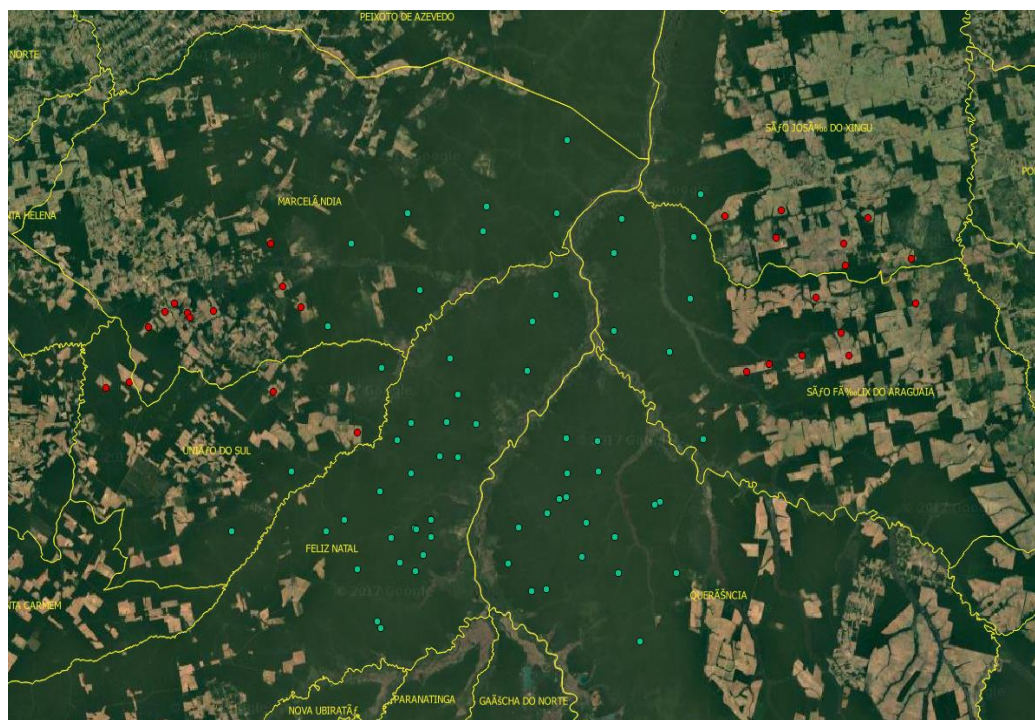
Figura 2- Plataforma *Series View*



Fonte: Autores.

A seguir, foram coletadas 65 amostras de floresta e 27 amostras de desflorestamento, sendo calculadas as tendências de variação para cada amostra, dispersas sobre a região de acordo com a figura 3 (amostras de floresta na cor verde e as de desflorestamento em vermelho).

Figura 3- Área de estudo com amostras localizadas de floresta e de desflorestamento



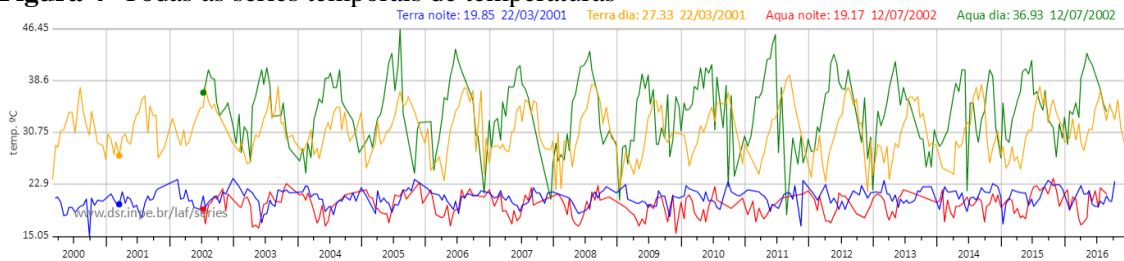
Fonte: Autores.

Com a definição das coordenadas das amostras, temos o acesso aos dados de temperatura de todas as datas disponíveis. Para processar esses dados, foi elaborado um *script* em linguagem R, que gera uma equação para calcular a linha de tendência para cada amostra. Com essa equação, é possível obter a temperatura inicial e final da série temporal de cada amostra e, ao obter a diferença destas temperaturas, chega-se ao resultado da tendência de aquecimento ou esfriamento da superfície.

Resultados e Discussões

A plataforma *Series View* possibilita analisar cada série temporal de temperatura de ambas plataformas TERRA e AQUA, contendo temperaturas de períodos diurnos e noturnos. A figura 4 mostra as quatro séries temporais em um mesmo gráfico, sendo possível observar que as temperaturas diurnas são maiores que as noturnas, enquanto as figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam as séries separadamente, que é uma funcionalidade da plataforma *Series View*.

Figura 4- Todas as séries temporais de temperaturas



Fonte: Autores.

Figura 5- Série temporal de temperatura diurna captada pelo satélite AQUA



Fonte: Autores.

Figura 6- Série temporal de temperatura noturna captada pelo satélite AQUA



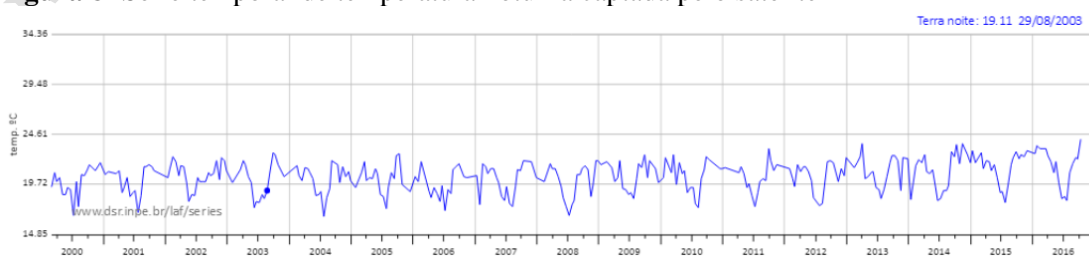
Fonte: Autores.

Figura 7- Série temporal de temperatura diurna captada pelo satélite TERRA



Fonte: Autores.

Figura 8- Série temporal de temperatura noturna captada pelo satélite TERRA

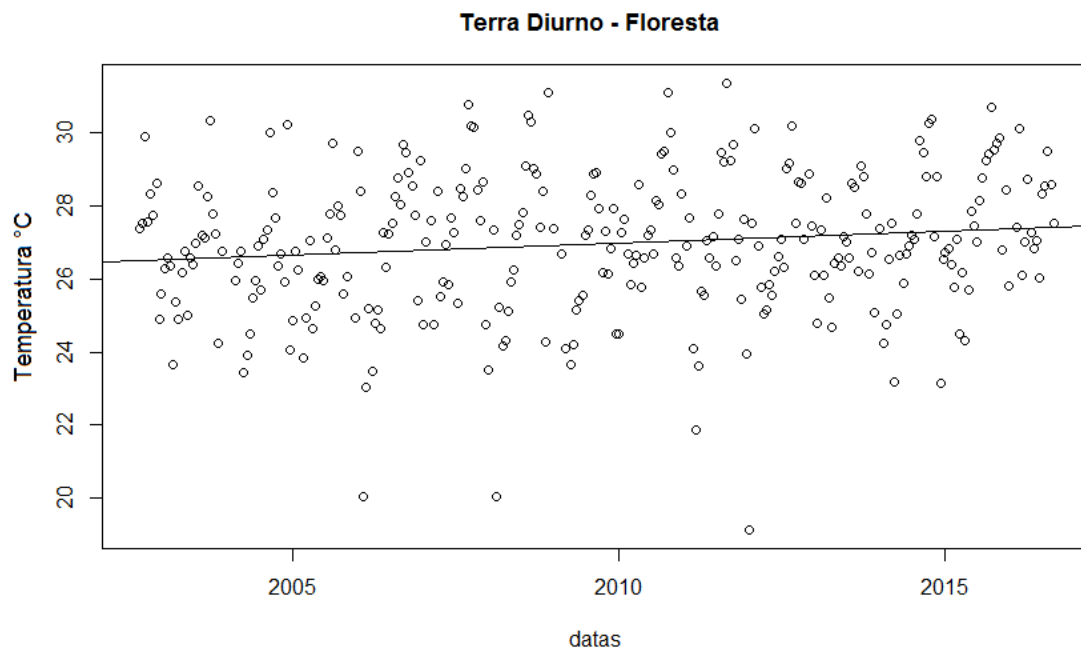


Fonte: Autores.

É possível observar também que o início das séries da plataforma TERRA e AQUA são diferentes.

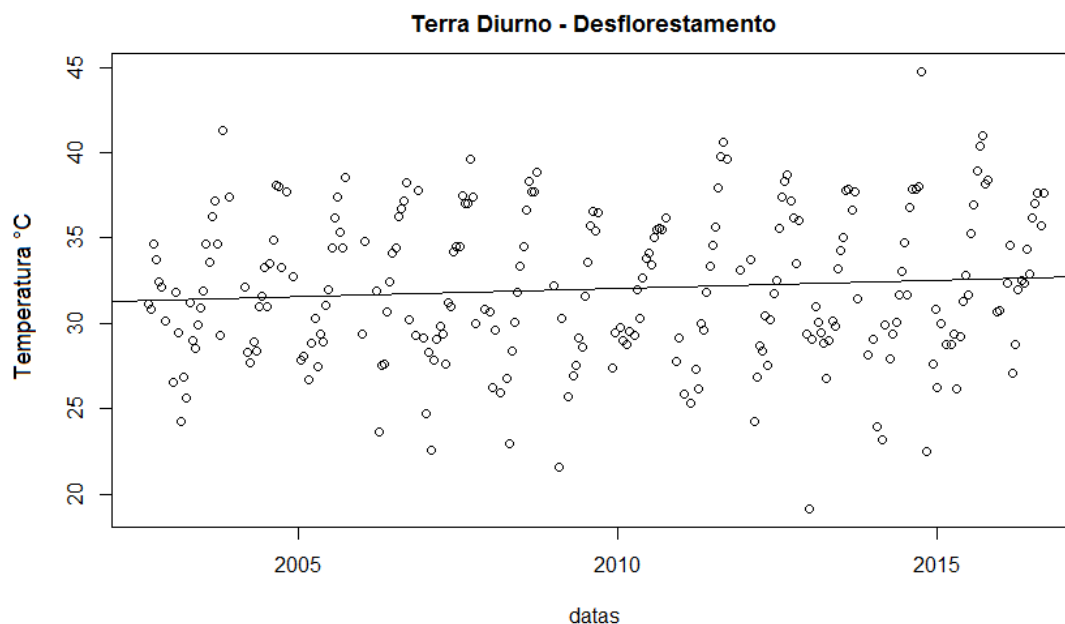
Podemos ver a exemplificação das distribuições das temperaturas nas figuras 9 e 10 de amostras de floresta e de desflorestamento. É visível a diferença do gradiente do eixo ordenada entre os dois gráficos, mostrando que as temperaturas captadas na floresta contêm máximas até aproximadamente 32°C (Figura 9), enquanto que as temperaturas do gráfico de desflorestamento ultrapassam a temperatura 30°C ao longo da série temporal e as máximas ultrapassam 40°C (Figura 10).

Figura 9- Gráfico com linha de tendência da temperatura de uma amostra de Floresta.



Fonte: Autores.

Figura 10- Gráfico com linha de tendência da temperatura de uma amostra de Desflorestamento



As tabelas 1 e 2 apresentam a localização geográfica (latitude e longitude) de amostras analisadas, as variações de tendências da temperatura na série temporal, dos diferentes horários de acordo com a passagem das plataformas pela linha do equador, onde Terra Dia e Terra Noite correspondem à observação do TERRA às 10h30min e às 22h30min, respectivamente, e Aqua Dia e Aqua Noite são a observação do AQUA a 1h30min e às 13h30min. São apresentadas somente algumas amostras de floresta e desflorestamento, comprovando que houve uma tendência de aquecimento, independentemente das amostras de floresta ou desflorestamento.

Tabela 1- Variação das temperaturas em amostras de floresta

Rótulo	Latitude	Longitude	Terra Dia (°C)	Aqua Dia (°C)	Terra Noite (°C)	Aqua Noite (°C)
Floresta	-11,652	-53,349	0,9	1,57	1,2	0,58
Floresta	-11,457	-53,584	1,34	1,41	1,11	0,24
Floresta	-11,658	-53,065	0,94	1,48	1,07	1
Floresta	-11,888	-53,428	0,77	1,58	0,97	0,36
Floresta	-11,725	-53,463	0,83	1,85	1,07	0,62
Floresta	-11,705	-53,956	0,77	1,98	0,9	1,03

Floresta	-11,830	-53,918	0,79	1,61	0,85	0,88
Floresta	-11,983	-53,852	1,32	1,31	0,7	0,98
Floresta	-11,735	-54,273	0,84	1,37	0,67	0,8
Floresta	-10,915	-53,356	0,74	0,37	0,99	0,62
Floresta	-11,455	-5,376	0,82	1,06	1,09	1,24
Floresta	-11,585	-53,768	0,79	1,47	1,21	1,16

Tabela 2-Variação das temperaturas em amostras de desflorestamento

Rótulo	Latitude	Longitude	Terra Dia (°C)	Aqua Dia (°C)	Terra Noite (°C)	Aqua Noite (°C)
Desflorestamento	-11,132	-52,625	4,44	5,42	0,91	1,01
Desflorestamento	-11,033	-52,358	1,26	3,20	0,73	1,31
Desflorestamento	-11,479	-53,917	3,1	4,01	1,11	1,46
Desflorestamento	-10,994	-54,163	1,68	2,04	0,83	0,56
Desflorestamento	-11,350	-54,562	3,78	8,72	0,5	0,27
Desflorestamento	-11,171	-54,398	3,26	4,39	0,76	0,41
Desflorestamento	-11,184	-54,391	3,88	6,54	1,16	0,52
Desflorestamento	-11,209	-54,506	1,38	3,72	0,99	0,85
Desflorestamento	-11,169	-54,460	2,13	3,21	0,73	0,39
Desflorestamento	-11,158	-54,077	0,95	4,04	0,87	0,84
Desflorestamento	-11,223	-52,555	0,81	0,56	1,18	0,80
Desflorestamento	-11,103	-54,128	1,33	3,46	1	1,1

As tendências das temperaturas encontradas na passagem das 13h30min (Aqua Dia) nas amostras de desflorestamento (tabela 2) são destacadamente superiores em relação às amostras de floresta (tabela 1), onde o valor mínimo da tendência de temperatura encontrada é de 0,37°C na floresta em contrapartida o valor mínimo encontrado é de 0,56°C no desflorestamento. A diferença entre as variações de temperaturas mínimas encontradas é de 0,19°C, enquanto que a diferença entre as variações máximas é de 6,74°C.

A tabela 3 mostra a variação média e o desvio padrão das tendências de temperatura de todas as amostras de floresta e de desflorestamento. Pode se observar

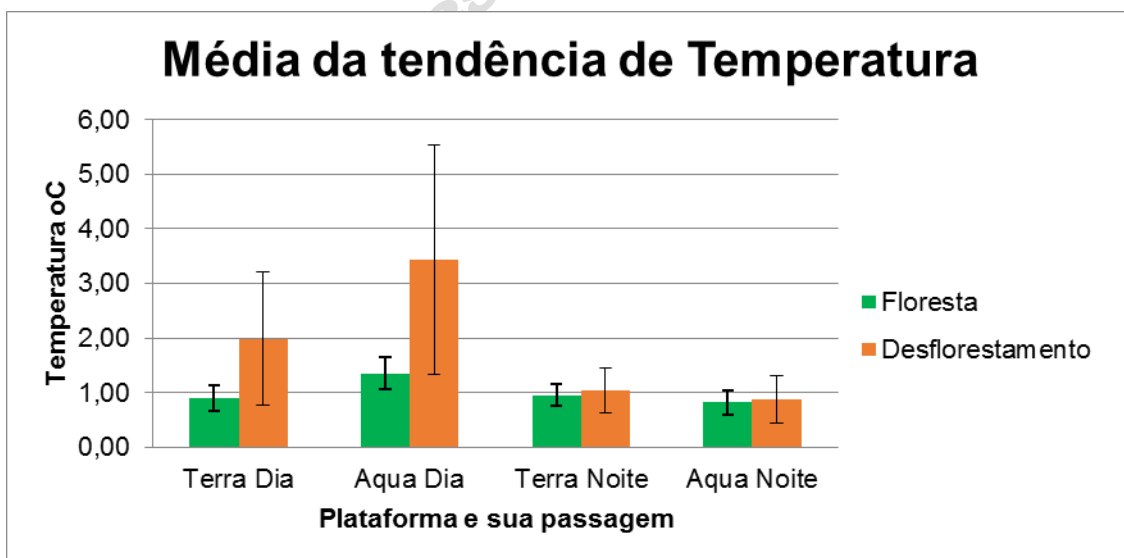
que a variação média da tendência encontrada nas amostras de desflorestamento é superior às da floresta nas estimativas diurnas e noturnas em ambas plataformas TERRA e AQUA, tendo respectivamente a diferença de 1,09°C e 2,09°C no período diurno e de 0,09°C e 0,06°C no período noturno, concluindo que o aquecimento no desflorestamento é superior ao da floresta.

Tabela 3- Médias das variações de temperatura

	Rótulo	Terra Dia (°C)	Aqua Dia (°C)	Terra Noite (°C)	Aqua Noite (°C)
Média	Floresta	0,90	1,35	0,95	0,82
Média	Desflorestamento	1,99	3,44	1,04	0,88
Desvio Padrão	Floresta	0,24	0,30	0,20	0,22
Desvio Padrão	Desflorestamento	1,22	2,10	0,41	0,43

A figura 11 mostra o gráfico referente aos valores de média encontrados na tabela 3, indicando os desvios padrões das médias de tendência encontrados para cada plataforma e seu horário de passagem.

Figura 11- Gráfico com dados de média da tendência de variação da temperatura com desvio padrão

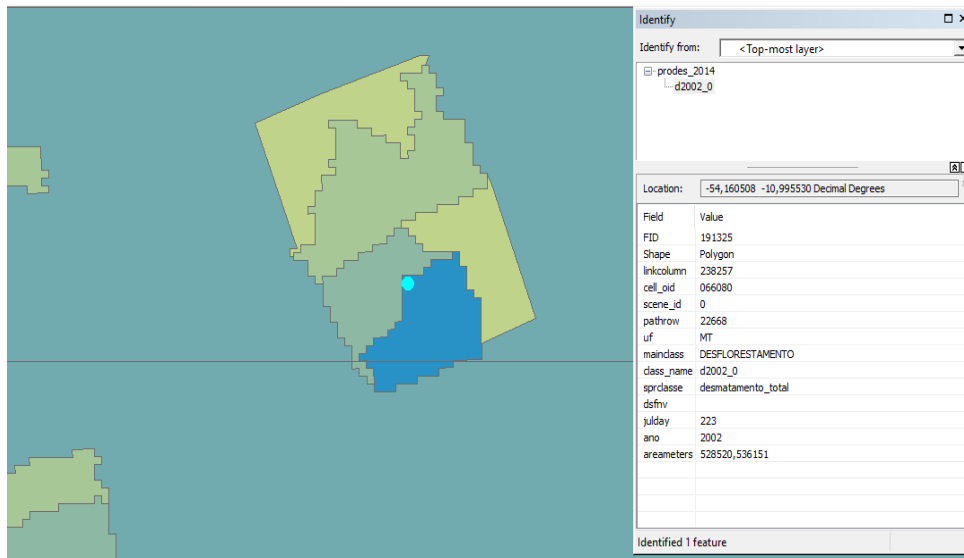


Fonte: Autores.

Foi analisado o índice de vegetação EVI-2 disponível na plataforma *Series View* para os casos de desflorestamentos, em que foi verificada se os mesmos ocorrem no ano

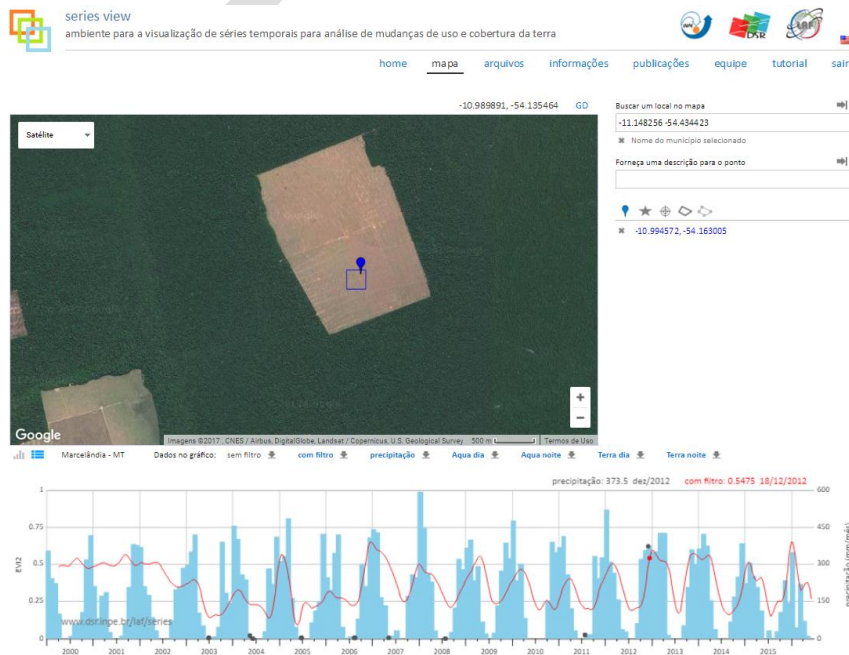
detectado pelo projeto PRODES. Nem todas as amostras de desflorestamento apresentaram essa compatibilidade, não correspondendo ao ano detectado pelos dados do PRODES. Dentre as amostras, foi possível identificar 4 pontos compatíveis ao ano de desflorestamento do PRODES, exemplificadas nas figuras 12 e 13 a seguir:

Figura 12- Dados de desflorestamento correspondendo com os dados PRODES



Fonte: Autores.

Figura 13- Índice de vegetação EVI-2 da plataforma *Series View*



Fonte: Autores.

A tabela 4 apresenta as 4 amostras onde houve a compatibilidade de datas de desflorestamento. Nota-se uma alta variação de temperatura, quando comparado com os dados médios apresentados na tabela 3, obtendo uma diferença para os dados diurnos e noturnos dos satélites TERRA e AQUA respectivamente: 0,82°C, 2,18°C, -0,35°C e -0,43°C.

Tabela 4- Pontos de desflorestamento encontrados na série temporal

Rótulo	Latitude	Longitude	Terra Dia (°C)	Aqua Dia (°C)	Terra Noite (°C)	Aqua Noite (°C)
Ponto 1	-10,927	-52,479	4,75	7,89	0,26	0,58
Ponto 2	-10,994	-54,163	1,68	2,04	0,83	0,56
Ponto 3	-11,350	-54,562	3,78	8,72	0,5	0,27
Ponto 4	-11,148	-54,434	1,04	3,83	1,15	0,4

Conclusões

No trabalho realizado, observou-se o aumento da temperatura em toda a área de estudo, independente de as áreas serem de florestas ou desflorestamento. As amostras de desflorestamento apresentaram um aumento da temperatura superior às amostras de floresta.

Comparando os dados do PRODES e da série temporal da plataforma *Series View*, foi observada a compatibilidade em quatro amostras de desflorestamento, que foram estudadas à parte, e descritos os resultados neste trabalho. Tiveram pontos onde o desflorestamento foi anterior à série temporal ou não houve a compatibilidade.

Por fim, salientamos que a fundamentação de estudos climáticos é importante para enfatizarmos como o Brasil é frágil em relação às mudanças climáticas (NOBRE, ASSAD E OYAMA, 2005) e este trabalho consegue mostrar que, mesmo na própria região, mas com coberturas vegetais distintas, as tendências de variação da temperatura são diferentes para cada tipo de cobertura, destacando-se que a interferência antrópica conseguiu influenciar no aquecimento da área de estudo.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, L. O. *et al.* *Sensor MODIS: uma abordagem geral*. São José dos Campos: INPE, 2003. 53 p. (INPE-10131-RPQ/752). Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZsFDuKxG/AqycQ>>. Acesso em 21 out.2016.
- ARAI, E. *et al.* Avaliação da série temporal de dados de temperatura da superfície derivadas do sensor MODIS. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18*. (SBSR), 2017, Santos. Anais ... São José dos Campos: INPE, 2017.
- COLL, C. *et al.* Ground Measurements for the validation of land temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. v. 97, p. 288-300, 2005.
- CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; IDEIÃO, S. M. A. Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat 5-TM. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14*. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5717-5724. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.22.51>>. Acesso em 08 jun.2017.
- FREITAS, R. M. *et al.* Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v. 2, n. 1, p. 57-64, 2011.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. *et al.* Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon forest, *J. Geophys. Res. Atmos.* 118, 5204–5215, doi:10.1002/jgrd.50456, 2013.
- JUSTICE, C. O. *et al.* An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*. v. 83, n. 1-2, nov. p. 3-15, 2002a.
- NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil: O Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira. *Scientific American Brasil*, v. 80, n. especial, p. 70-75, 2005.
- SANTOS, N. B. F.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C. Distribuição espacial da temperatura de superfície no bioma cerrado: uma análise a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15*. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5965-5972. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A493B2>>. Acesso em 03 nov. 2015.
- SOUZA, D. O. *Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local*. 2012. 217 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.20.09.43-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),

São José dos Campos, 2012. Disponível em:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BHRQFH>>. Acesso em 07 dez. 2015.

WAN, Z.; LI, Z. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. v. 35, n. 4, p. 980-996, 1997.

WAN, Z. *et al.* Land-surface temperature and emissivity retrieval from MODIS Airborne Simulator (MAS) data. *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*, January 12-16, vol. 3, p. 57-66. 1998.

WAN, Z. *MODIS Land-Surface temperature algorithm theoretical basis document*. Institute for Computational Earth System Science. University of California. April 1999.

WAN, Z. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*. v. 112, p. 59-74, 2008.

VARIATION OF TEMPERATURE TREND OF LAND SURFACE IN A TEMPORAL SERIES FROM MODIS SENSOR

ABSTRACT

The MODIS sensor is able to get information at a wavelength in the range of the thermal electromagnetic spectrum that enables the generation of thermal products land surface temperature (LST) that is available for free. The TERRA and AQUA platforms have the MODIS sensor onboard and it is possible to verify temperatures during the day and night periods. By calculating the trend of temperature variation of forest and deforestation samples in a time series, temperature increasing was found. Using the time series displayed on the Series View site, the trend calculation is performed through an R language script, showing the warming in all samples analyzed, regardless of whether the samples are of forest or deforestation. Another analysis was carried out with the years of deforestation of the PRODES project, comparing if there was compatibility in the years of deforestation with the information of the time series of EVI2 Series View. The anthropic activities analyzed in the forest, in this case, deforestation had a great influence on the climate of the study area.

Keywords: MODIS. Variation trend. Surface temperature. Forest. Deforestation. Time series.

Envio: julho/2017
Aceito para publicação: julho/2017