

Avaliação da série temporal de dados de temperatura da superfície derivadas do sensor MODIS

Egidio Arai ¹
Yosio Edemir Shimabukuro ¹
Liana Oighenstein Anderson ²
Arley Ferreira de Souza ¹
Claudomiro Mauricio da Silva ¹
Mateus Kazuichi Yamamoto ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{egidio, yosio, claudomiro}@dsr.inpe.br, arley.souza@fatec.sp.gov.br,
mateus.yamamoto@fatec.sp.gov.br

² Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN
Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo- São José dos Campos -
SP, Brasil
liana.anderson@cemaden.gov.br

Abstract. This paper describes a construction of time series using land surface temperature product (MYD11A2) from MODIS sensor aboard the Aqua platform. The main problem encountered was the many failures that occur even in the eight day compositions. Gaps occur much more in nighttime than in daytime temperature products. Then several interpolation methods were tested to fill these gaps. The best way to fill the gaps was to first build the 16-day compositions similar to the existing EVI2 time series in LAF website and the most appropriate interpolation would be linear interpolation. It was also analyzed some samples of different types of land use and land cover, such as water, urban area, forest, agriculture, cerrado, wetland and deforestation using the time series of temperature constructed in this work. As expected, the variations between daytime and nighttime temperatures are lower in water and higher in agricultural and urban areas. Regarding the analysis of the samples was found a tendency of temperature increase during the period analyzed.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, surface temperature, sensoriamento remoto, processamento de imagens, temperatura da superfície.

1. Introdução

Os sensores Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) se encontram a bordo das plataformas Terra e Aqua, que foram lançados em 1999 e 2002, respectivamente (Anderson *et al.*, 2003). Esses sensores adquirem informações com as quais estão sendo gerados diversos produtos, como exemplo, refletância da superfície, índices de vegetação, temperatura da superfície, etc. Devido esta longevidade e a sua resolução temporal quase que diária é possível realizar estudos detalhados com o uso de série temporal dos seus produtos. Um exemplo consagrado é a série temporal existente do índice de vegetação EVI-2 (Freitas *et al.*, 2011), onde os usuários podem visualizar e adquirir dados referentes as mudanças do uso do solo analisando uma série temporal desse índice de vegetação.

A construção de uma série temporal de temperatura da superfície pode auxiliar em diferentes pesquisas como no estudo do aquecimento global no Brasil (Nobre *et al.*, 2005), aquecimento recente na floresta amazônica (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2013), ilhas de calor em áreas urbanas (Cunha *et al.*, 2009; Souza, 2012), distribuição de temperatura no bioma Cerrado (Santos *et al.*, 2011).

Neste contexto, o principal objetivo é a construção de uma série temporal de temperatura do produto MYD11A2 (Wan, 1999), que é uma composição de 8 dias do produto diário de

temperatura da superfície e emissividade MYD11A1. Na sequência foram realizados testes de interpolação da série temporal de forma a identificar as melhores técnicas para o preenchimento de falhas nos dados devido à presença de nuvens.

Finalmente para avaliar os dados de temperaturas extraídos da série temporal do sensor MODIS, construída neste trabalho, foram feitas as seguintes análises. Primeiramente, foi analisada a sazonalidade da temperatura em alguns tipos de uso e cobertura do solo, para avaliar a qualidade dos dados e a possibilidade de quantificar tendências nas séries temporais. Em seguida, foi analisada a diferença entre as temperaturas dos alvos selecionados, comparando-se os dados diurnos e noturnos.

2. Material e Método

A área de estudo corresponde ao *tile* h12v10 do sensor MODIS que abrange boa parte do estado do Mato Grosso.

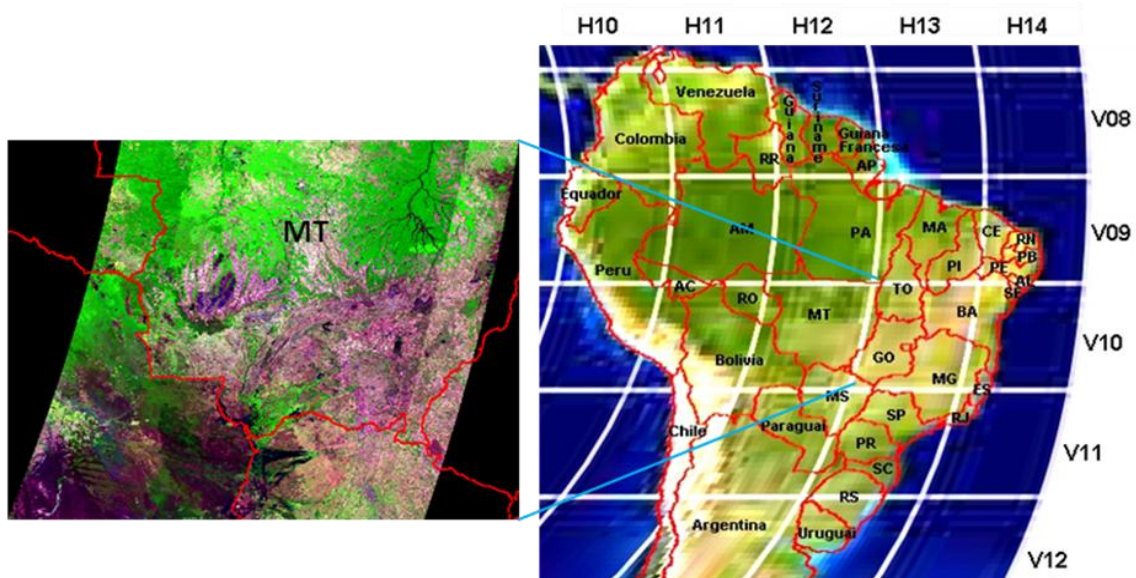


Figura 1. Localização da cena utilizada como área de estudo: tile h12v10 do sensor MODIS.

Os sensores MODIS estão a bordo da plataforma Terra e Aqua, e os produtos de temperatura da superfície da Terra (LST – *Land Surface Temperature*) e emissividade são produzidos para ambos. Para diferenciar, os produtos da plataforma Terra são precedidos pelas letras MOD e os do Aqua pelas letras MYD. Neste estudo foram utilizados os produtos de temperatura da superfície produzidos pelo sensor MODIS da plataforma Aqua, devido a diferença nos horários de passagem das plataformas sobre o continente sul americano. A plataforma Terra passa sobre a linha imaginária do equador às 10:30 h no horário local diurno e às 22:30 h no horário noturno, enquanto que a plataforma Aqua passa às 13:30 h diurno e 1:30 h noturno.

Assumindo que as temperaturas máximas são obtidas no período da tarde e as mínimas na madrugada, então ficou estabelecido que o produto MYD11A2 do Aqua é o mais indicado para este estudo. Este produto é uma composição de 8 dias de temperatura da superfície calculado com os valores médios (sem nuvem) do produto diário MYD11A1 com resolução espacial de 1 km. O produto MYD11A2 é composto por temperaturas diurnas e noturnas, informações de qualidade, ângulos de visada, horários de observação, informação dos dias com/sem nuvem, e emissividade estimadas nas bandas 31 e 32.

O algoritmo *day/night Land Surface Temperature* utilizado para o cálculo deste produto foi desenvolvido por Wan e Li (1997) especificamente para o MODIS, validadas a partir de

imagens MAS (*MODIS Airborne Simulator*) e por mensurações de campo realizadas em 1996-1998 (WAN *et al.*, 1998).

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

O período utilizado nesta pesquisa compreendeu toda a série temporal disponível, que se inicia no dia 26 de junho de 2002 e a última composição utilizada é do dia 28 de agosto de 2016.

Para as análises dos dados originais do Produto MOD11, que são fornecidos em graus Kelvin, foi necessário utilizar um fator de conversão para transformar os valores em 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.

Para compatibilizar as composições de 8 dias dos dados de temperatura da superfície com as composições de 16 dias da série temporal do índice de vegetação EVI-2 do laboratório virtual do Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF/INPE) (Freitas *et al.*, 2011) foram geradas as composições de 16 dias da temperatura da superfície calculando a média das duas composições de 8 dias, ou apenas uma das composições quando não houve observação na outra composição. Esta compatibilização entre as séries dos dois produtos foi realizada para que amostras de determinados tipos de cobertura do solo, derivados do EVI-2, pudessem ser utilizados como informações de campo para subsidiar as análises de dados de temperatura, derivados do MYD11A2.

Uma das dificuldades para a geração da série temporal de temperatura são as falhas encontradas no produto, geralmente ocasionadas pela presença de nuvem. Baseado na análise preliminar destes dados, observou-se que estas falhas chegou até a 97,9% em uma composição noturna de 8 dias.

Portanto, para a construção desta série temporal sem as falhas é necessário uma estratégia de interpolação de dados. A interpolação espacial não é indicada, uma vez que existe a possibilidade de se ter diferentes tipos de coberturas do solo entre os pixels vizinhos, o que acarretaria em resultado errôneo. Assim, a interpolação selecionada deverá ser temporal na mesma localização geográfica. Nesta pesquisa foram testadas as interpolações lineares, quadráticas, mínimos quadrados e *spline* para escolher a interpolação mais indicada. A avaliação das interpolações constou de uma análise visual dos resultados, levando em consideração x, y, z. Outra forma de preencher as falhas poderia ser a substituição das falhas pela média dos pixels das mesmas datas de todos os anos, ou seja, a falta de dado no dia 001 de um determinado ano seria calculado com base na média das composições do dia 001 dos anos 2002 a 2016. No entanto, esta estratégia poderia introduzir erros nas análises devido a existência de anos com temperaturas anômalas, como por exemplo o ano de 2015 (Jimenes-Munoz *et al.*, 2013).

Finalmente, foram estabelecidas amostras de diferentes tipos de uso e cobertura do solo para analisar a sazonalidade da temperatura e as falhas na série histórica das temperaturas. A Figura 2 apresenta as localizações das amostras de água, área urbana, floresta, agricultura, cerrado, pantanal e desflorestamento.

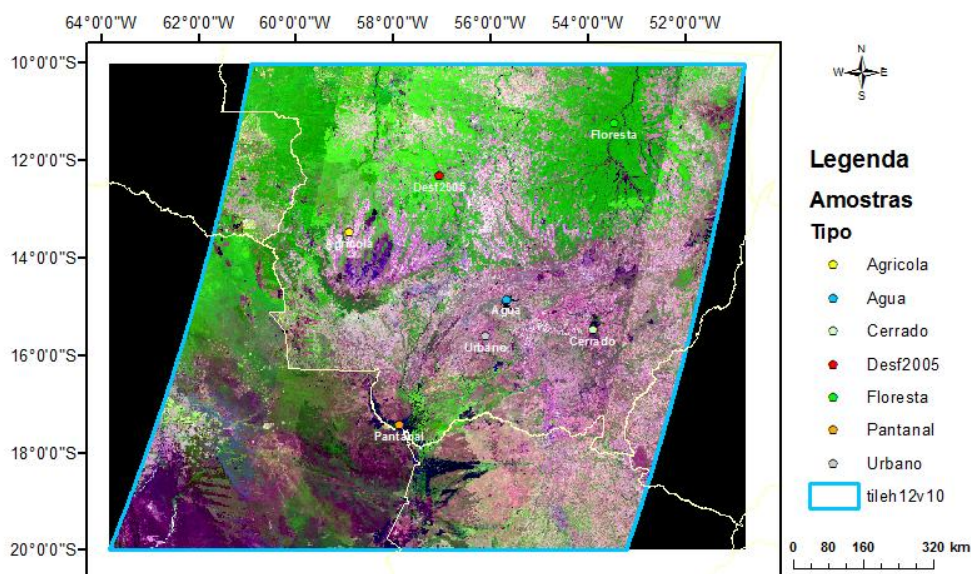


Figura 2. Localização das amostras utilizadas no estudo. As coordenadas geográficas das amostras são: agricultura (latitude: 13,45 S, longitude: 58,92 W); água (latitude: 14,83 S, longitude: 55,67 W); cerrado (latitude: 15,46 S, longitude: 53,88 W); desmatamento em 2005 (latitude: 12,30 S, longitude: 57,06 W), floresta (latitude: 11,21 S, longitude: 53,44 W); pantanal (latitude: 17,42 S, longitude: 57,88 W); urbano (latitude: 15,59 S, longitude: 56,09 W).

Estas amostras de alvos específicos foram adquiridas utilizando uma inspeção visual da série temporal de EVI2. A Figura 3 mostra onde a amostra de área agrícola foi escolhida e o gráfico da figura mostra o comportamento temporal característico dessa classe. As amostras das outras classes foram escolhidas da mesma maneira.

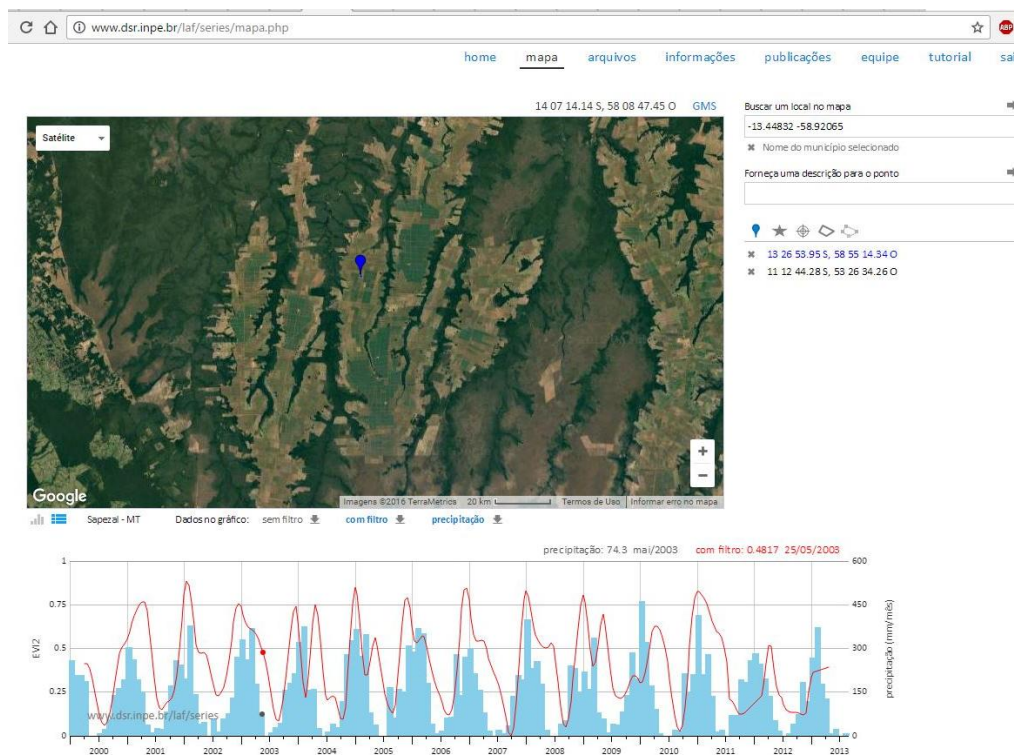


Figura 3. Amostra de área agrícola selecionado utilizando a série temporal de EVI2.

3. Resultados e Discussão

3.1 Avaliar falhas

As falhas encontradas na composição de 8 dias de temperaturas de superfície tornam a série temporal incompleta, impondo limitações nas análises dos dados. O pior caso encontrado no produto de 8 dias ocorreu na composição noturna do dia 9 de janeiro de 2016, onde em um universo de 1.287.237 pixels somente 27.050 pixels eram válidos, ou seja, 2,1% (Figura 4a). Após realizar a composição de 16 dias utilizando as composições das datas de 1 e 9 de janeiro de 2016 (Figura 4b) o número de pixels válidos aumentou para 9,42% (121.253 pixels). A média de pixels válidos das composições noturnas de 8 dias analisadas foi de 67,48% e das composições diurnas de 8 dias foi de 81,05%. Após a construção de composições de 16 dias, a média de pixels válidos subiu para 81,02% e 91,99% nas composições noturnas e diurnas, respectivamente.

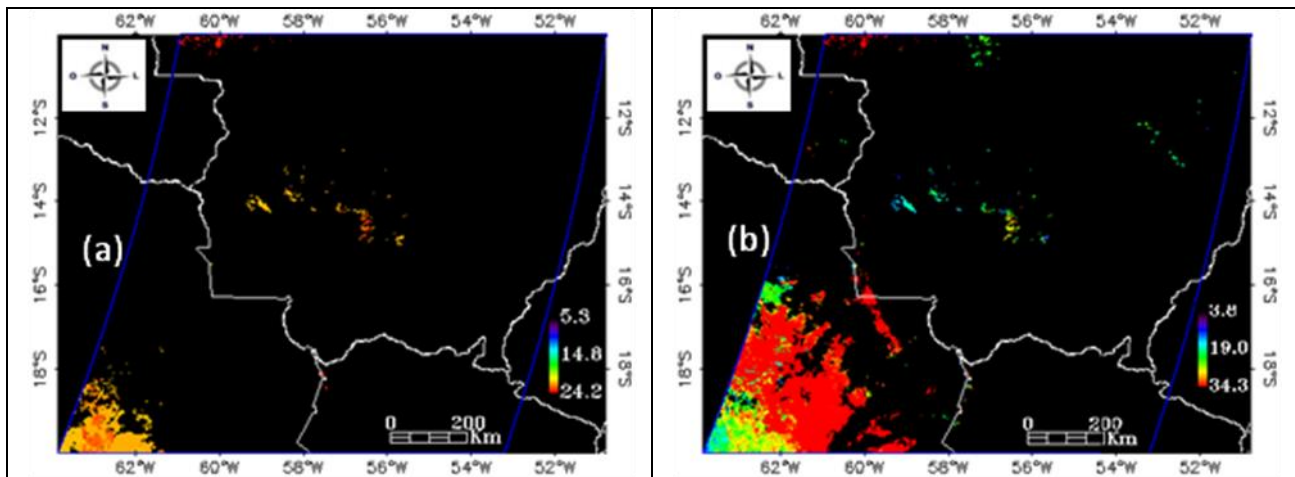


Figura 4. Falta de dados nas composições de 8 e 16 dias, representado na cor preta.

A Tabela 1 mostra as datas das composições (diurnas e noturnas) com maiores falhas e a porcentagem de pixels válidos correspondentes a estas composições. Pode ser observado o aumento da porcentagem de pixels válidos nas composições de 16 dias que foram construídas.

Tabela 1. Porcentagem de pixels válidos das composições de 8 e 16 dias e suas respectivas datas.

Noturno 8 dias		Noturno 16 dias		Diurno 8 dias		Diurno 16 dias	
Data	%	Data	%	Data	%	Data	%
09/01/2016	2,10	02/02/2011	5,87	27/12/2003	9,12	01/01/2016	44,45
27/12/2010	2,88	01/01/2016	9,42	27/12/2009	12,58	17/01/2008	50,54
02/02/2011	3,11	01/01/2007	12,74	17/01/2003	14,88	17/01/2005	53,06
10/02/2011	3,30	17/01/2005	16,04	27/12/2010	14,95	17/11/2005	58,68
27/12/2003	3,31	01/01/2004	20,70	09/01/2016	18,79	03/12/2006	61,57

As composições diurnas de 8 dias apresentaram 11 datas sem nenhuma falha, enquanto que as composições noturnas apresentaram falhas em todas as datas. Após a construção das composições de 16 dias, foram encontradas 12 e 35 datas sem falhas nas composições noturnas e diurnas, respectivamente.

A Figura 5 mostra a porcentagem de dados noturnos e diurnos disponíveis, onde é possível observar que os períodos que apresentam a menor porcentagem são no final e início de cada ano, enquanto que os períodos de maior porcentagem são no meio dos anos, coincidindo com os períodos de seca, isto é, período com poucas nuvens.

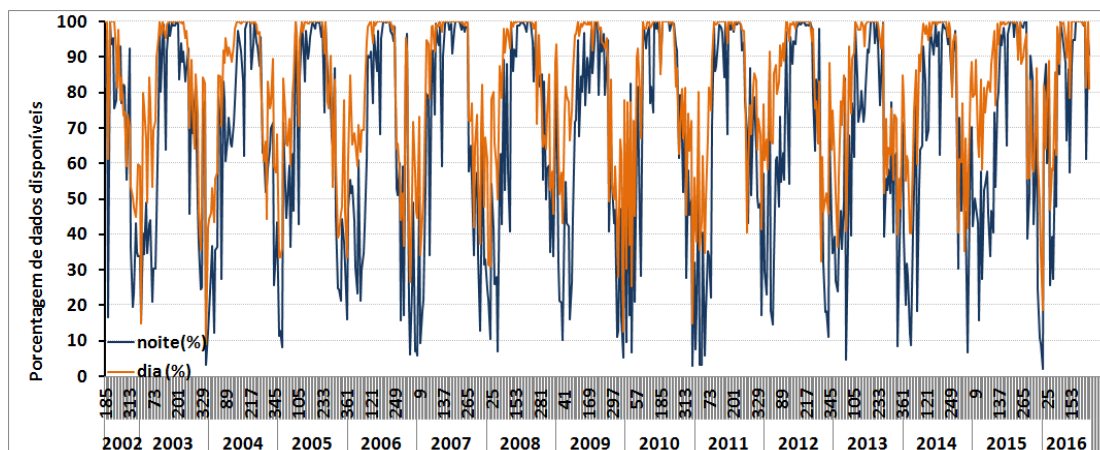


Figura 5. Porcentagem de dados noturnos e diurnos disponíveis.

3.2 Avaliar interpolações

A Figura 6 mostra as interpolações testadas para preencher as falhas: linear, quadrática, mínimos quadrados e *spline*. Em destaque se encontra uma ampliação entre os anos 2010 e 2011. Outra forma de preenchimento foi a utilização da média histórica da data específica (linha pontilhada vermelha), porém esta não se mostrou apropriada. Como pode ser observado no período inicial da ampliação, a temperatura aumenta enquanto que as interpolações tendem a diminuir.

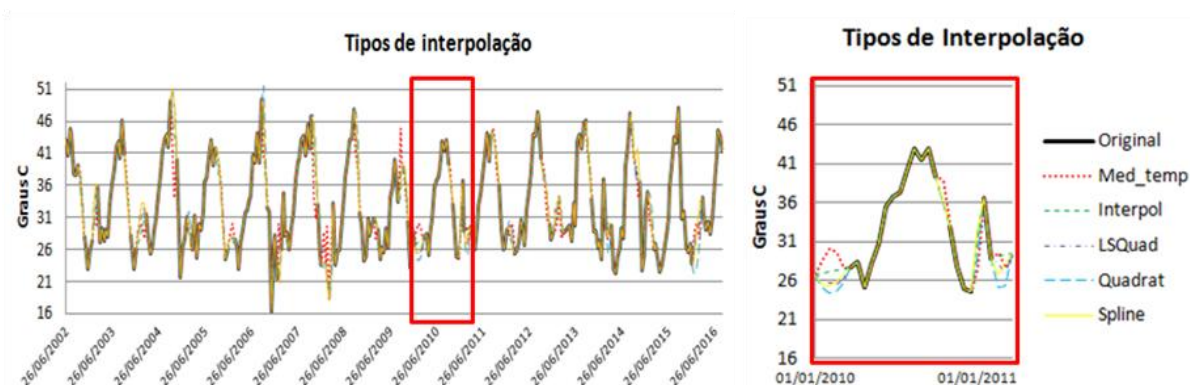


Figura 6. Possíveis preenchimento da série temporal.

Através de uma análise visual foi possível constatar que a interpolação linear é a que melhor representa a tendência das temperaturas. Dessa maneira, caso seja adotada algum tipo de preenchimento da série temporal dentre as interpolações avaliadas, a interpolação linear seria a mais indicada.

3.3 Comportamento das temperaturas nas amostras

Utilizando a série temporal de EVI2 foram escolhidas algumas amostras de floresta, água, área urbana, agricultura, cerrado, pantanal e desflorestamento. Pode ser observado que as

falhas não atrapalham o comportamento da série temporal. Adicionando uma linha de tendência linear nas séries temporais das temperaturas do MODIS/Aqua diurno, pode ser observado na Figura 7 um aumento acentuado da temperatura no período da série temporal na área urbana (a) e desflorestamento (b), e um pequeno aumento na floresta (c) e até mesmo na água (d). Essa tendência de aumento na temperatura diurna foi de aproximadamente $1,9^{\circ}\text{C}$ na área urbana, $5,5^{\circ}\text{C}$ no desmatamento, $0,5^{\circ}\text{C}$ na floresta e $0,7^{\circ}\text{C}$ na água. Enquanto que essa tendência de aumento na temperatura noturna foi de aproximadamente $1,2^{\circ}\text{C}$ na área urbana, $1,3^{\circ}\text{C}$ no desmatamento, $0,9^{\circ}\text{C}$ na floresta e $0,5^{\circ}\text{C}$ na água.

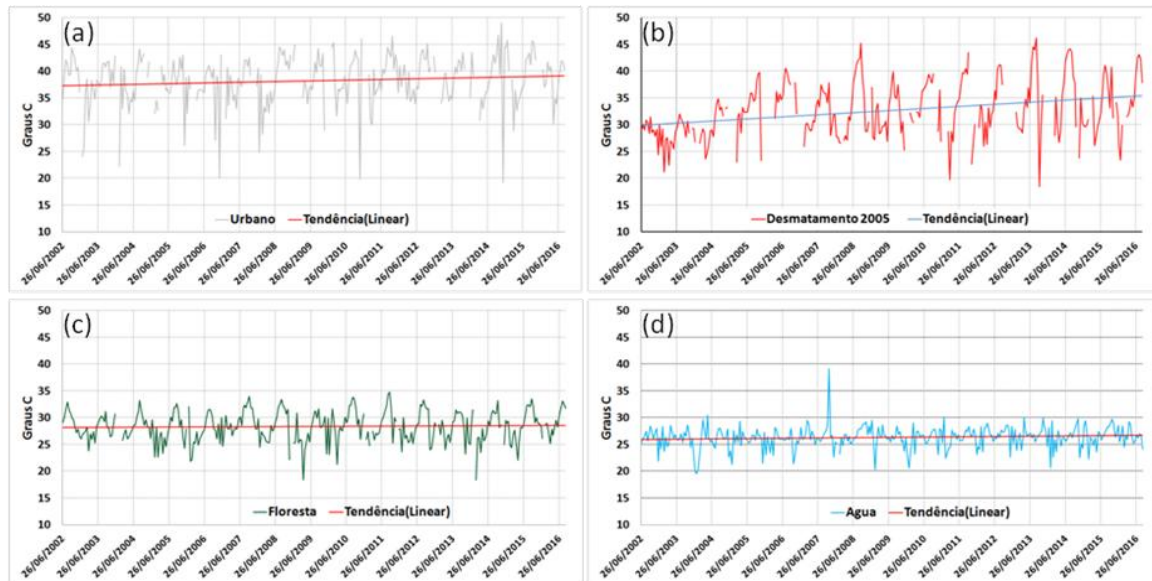


Figura 7. O comportamento das temperaturas diurnas das amostras e tendências.

Como esperado, pode se verificar as diferenças de temperatura entre as amostras estudadas. Com relação aos períodos diurno e noturno, as diferenças são maiores nas áreas agrícola e urbana, menores na floresta e muito pequenas na água (Figura 8). A diferença média da água foi de $2,53^{\circ}\text{C}$, já na floresta foi de $7,78^{\circ}\text{C}$, e nas áreas agrícola e urbana foram de $15,41^{\circ}\text{C}$ e $14,46^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

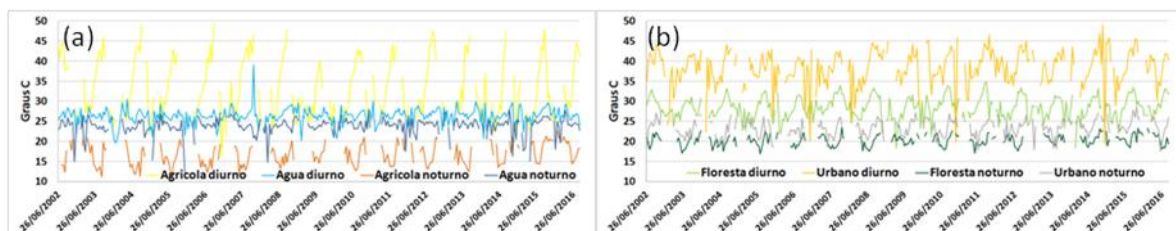


Figura 8. Comparação do comportamento da temperatura nas amostras de: (a) floresta e área urbana; (b) água e área agrícola, entre o período diurno e noturno.

4. Conclusões

Apesar do grande número de falhas do produto temperatura do MODIS (composição de 8 dias) é possível construir a série temporal, e esta fica melhor ao utilizar a composição de 16 dias. As falhas nas composições noturnas são maiores que nas composições diurnas.

Mesmo com a interpolação linear sendo a mais indicada, dentre os métodos testados, para preencher as falhas, a manutenção da série com as falhas seria a mais realista, pois não estaria inferindo possíveis erros.

Os resultados mostram uma tendência de aumento na temperatura nas amostras do período analisado, tanto diurno como noturno, ou seja, mesmo com as falhas a análise temporal dos dados não é prejudicada, atingindo assim o objetivo de uma série temporal. Como esperado as variações entre as temperaturas diurnas e noturnas são menores na água e maiores nas áreas agrícolas e urbanas.

Referências

- ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **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: 17 set. 2010.
- COLL, C.; CASELLES, V.; GALVE, J.M.; VALOR, E.; NICLÓS, R.; SÁNCHEZ, J.M.; RIVAS, R. 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: 03 nov. 2015.
- FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; FERREIRA, A. S.; YUZO, F.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. 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.; SOBRINO, J. A.; MATTAR, C.; MALHI, Y. 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.
- 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.; FENG, Y. Z.; ZHANG, Y.; KING, M. D. 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, pp.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