

COMPARAÇÕES ENTRE OS DADOS DE TEMPERATURA DO AR E OS DADOS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO SENSOR MODIS PARA O SISTEMA COSTEIRO CANANÉIA-IGUAPE, SÃO PAULO

Jakeline Baratto ¹
Paulo Miguel de Bodas Terassi²
Emerson Galvani ³

INTRODUÇÃO

A utilização de dados provenientes de produtos orbitais é cada vez mais presente em estudos ambientais, em especial dentro da Climatologia Geográfica. Entre os dados disponíveis, aquele de precipitação pluvial e temperatura de superfície (Ts) se destacam por mensurar as alterações e os padrões climáticos em setores em que há a rarefação de dados observados em superfície. Os dados de temperatura de superfície estão cada vez mais ganhando espaço para os estudos escala regional e global (ZHAO et al., 2019) devido à pertinência do conhecimento das características térmicas para diferentes segmentos da sociedade e para o monitoramento das condições ambientais. Alguns estudos utilizam dados de temperatura de superfície para indicar as ilhas de calor (PHAN; KAPPAS, 2018; CARDOSO; AMORIM, 2021), para pesquisas de seca e modelos hidroclimáticos (ZHAO et al., 2019) e mudanças na temperatura de superfície global relacionados com as mudanças climáticas (MAO et al., 2017). Diante disso, a importância dos dados de temperatura de superfície está sendo reconhecida e existe um forte interesse no desenvolvimento de metodologias para medir esse dado (LI et al., 2013).

Um dos sensores mais utilizados para dados de temperatura de superfície é o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que está acoplado nos satélites Terra e Aqua. Esses satélites fornecem dados de uma resolução temporal (duas vezes por dia para cada satélite) e espacial muito alta, nas escalas regional (1 km) e global (5 km) (PHAN; KAPPAS, 2018). Phan e Kappas. (2018) avaliaram e testaram

¹ Pós-doutorando em Geografia da Universidade de São Paulo - USP, jakelinebarattogeo@gmail.com;

² Professor Visitante - Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA, pmbterassi@gmail.com;

³ Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, egalvani@usp.br;

todos os dados individuais de Land Surface Temperature (LST), bem como todas as combinações possíveis dos quatro dados MODIS LST de duas estações separadas com características distintas da superfície terrestre no noroeste do Vietnã. No Brasil, o estudo de Nascimento et al. (2022) comparou os valores de temperatura de superfície com os dados de temperatura no ar para a cidade de São Paulo.

No Sistema Costeiro de Cananéia-Iguape (SCCI), Litoral Sul de São Paulo, a disponibilidade de dados de temperatura do ar é escassa. As estações meteorológicas oficiais são esparsas ou foram desativadas ao longo do tempo. Diante disso, com o intuito de ter uma alternativa para os dados de superfície, entendendo que a temperatura da superfície terrestre é uma importante variável climática relacionada à energia da superfície e ao balanço hídrico (LI et al., 2013), o objetivo deste trabalho consiste em analisar quais das medidas de temperatura de superfície do Sensor MODIS representa melhor os dados de temperatura do ar em superfície para o SCCI.

METODOLOGIA

Os dados de temperatura do ar de superfície (Tar) foram extraídos de quatro estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (ID2-Tar) e Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO) (ID1-Tar, ID3-Tar e ID4-Tar). Esses dados médios mensais foram adquiridos das respectivas plataformas para o período de 2007 a 2022 (período de validação) e apresentam falhas de registros inferiores a 10%, conforme se indica em Falhas Tar (Tabela 1).

Tabela 1: Localização das estações meteorológicas de superfície e as falhas dos produtos orbitais.

ID	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Instituição	Cidade	Falhas Tar (%)	Falhas LST (%)	Falhas Ts ⁴ (%)
ID1- Tar	-24,505300°	-47,833400°	11,0	CIAGRO	Registro	2,6	0,0	0,5
ID2- Tar	-24,671667°	-47,545330°	5,0	INMET	Iguape	8,8	0,0	0,0
ID3- Tar	-25,020321°	-47,925205°	6,0	CIAGRO	Cananéia	0,0	0,0	0,0
ID4- Tar	-24,610900°	-47,883500°	42,0	CIAGRO	Pariquera-Açu	4,1	0,0	2,0

⁴ Temperatura de superfície média

Os dados de temperatura de superfície foram coletados do Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Os dados de temperatura de superfície utilizados são oriundos do satélite MODIS/Aqua (/MYD11A2). Os dados MODIS/Aqua estão disponíveis às 13h30 manhã e da noite (dia/noite), hora local. A resolução espacial de 1 km é a resolução temporal refere-se à média de 8 dias dos dados diurnos e noturnos.

O sensor MODIS tem duas bandas para os dados de temperatura (LST_Day_1km e LST_Night_1km). Uma é resultado dos dados coletados durante o dia e outra durante à noite, respectivamente. Nesta análise utilizou-se a média entre as duas bandas para ter a temperatura de superfície média (T_s) e a banda da temperatura de superfície diária (LST). A aquisição dos dados do sensor MODIS foi coletada por meio da plataforma GEE por meio de Scripts de linguagem Javascript. Os dados de 8 dias foram calculados em média mensal. A validação ocorreu para as médias mensais, sazonais e anuais. Com esses dados, as médias mensais foram extraídas no GEE (MAO et al., 2017; ZHAO et al., 2019; YU et al., 2022) para cada pixel referente às coordenadas dos pontos em superfície.

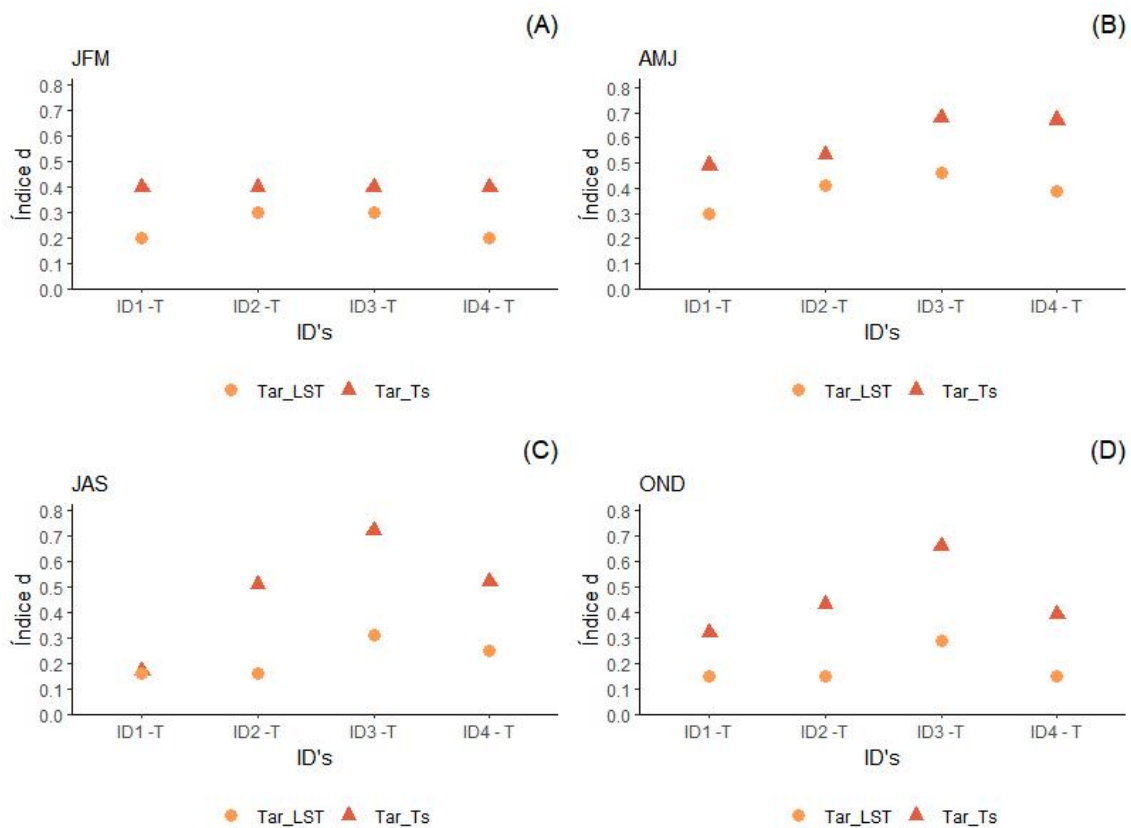
As métricas de desempenho utilizadas para a validação dos dados dos produtos orbitais em relação aos dados de superfície foram os coeficientes de Correlação (r) e Determinação (R^2), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (WILLMOTT; MATSUURA, 2005; CHAI; DRAXLER, 2014), Erro Percentual Médio (Pbias), Erro absoluto Médio (MAE) (WILLMOTT; MATSUURA, 2005) e Índice de Concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985). Essas métricas e os gráficos foram realizados no Rstudio (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As métricas estatística foram aplicadas para os dados sazonais e mensais para verificar a aderência entre a média da temperatura do ar e as médias das temperaturas de superfície (LST e T_s). De maneira geral, os dados da T_s se assemelham mais com os dados da temperatura do ar observados em superfície para as duas escalas. Em alguns períodos sazonais, a correlação entre a T_a e a T_s e LST foram negativas. Isso ocorreu para nos trimestres de JAS e OND, sendo que em OND a correlação foi negativa para o ID4 e ID1 e para as duas medidas de temperaturas. Em JAS, apenas o ID1 registrou correlação negativa, sendo de -0,41(T_a - T_s) e 0,54 (T_a -LST).

O índice d para o período de JFM (Figura 1A) foi muito próximo para as duas medidas, indicando que ambos os dados não representam bem os dados de temperatura do ar (SILVA et al., 2020) Em AMJ, os dados de LST foram os que mais têm concordância com os dados de temperatura do ar. Nos últimos períodos sazonais, JAS e OND, os dados de Ts foram os que se aproxima dos dados de Tar (índice d de 0,5), principalmente para os ID's 2,3 e 4. O ID1 foi o que apresentou maiores discordâncias entre os dados dos satélites e dos dados de superfície, principalmente para LST (Figura 1)

Figura 1: Métricas estatísticas aplicada para os dados sazonais entre os dados de temperatura de superfície (Ts e LST) e de temperatura do ar observada para janeiro, fevereiro e março (JFM), abril, maio e junho (AMJ), julho, agosto e setembro (JAS) e outubro, novembro e dezembro (OND).



O Pbias indicou que os dados de Ts foram subestimados em comparação aos dados de Tar. Em AMJ, os ID1 e ID2 foram os que registraram os maiores valores de Pbias, sendo de -8,6% e -9,6%, respectivamente. No entanto, os dados de LST foram superestimados em mais de 20% nos períodos de JFM, JAS e OND. Os dados sazonais

de LST dos ID1 e ID4 (mais de 45,0%) foram os que superestimaram os dados de temperatura.

De maneira geral, o período de AMJ registrou os valores de MAE mais próximos entre os pontos, variando de 1,5 (ID2 Tar_Ts) até 4,4 (ID4 Tar_LST). Assim, os menores valores de MAE em todos os períodos foram registrados entre Tar e Ts. Os ID1 e ID4 tiveram os maiores valores de MAE em JFM, JA e OND, para as duas medidas de temperatura. Em OND, os valores de MAE e RMSE foram elevados para o ID1 entre Tar e LST, sendo de 10,1°C para MAE e 10,4°C para o RMSE. Em relação ao RMSE, os maiores valores ($> 9,0^{\circ}\text{C}$) estão associados à temperatura LST, nos períodos de JFM, JAS e OND. Os menores valores de RMSE ($< 2,0^{\circ}\text{C}$) corresponderam para Ts, nos períodos de AMJ, JAS e OND.

Para Nascimento et al. (2022), o período de primavera e verão tiveram o erro médio absoluto (MAE) variando de $-5,0^{\circ}\text{C}$ até $0,0^{\circ}\text{C}$ entre LST e a temperatura do ar e no outono-inverno, o MAE foi de $-0,8^{\circ}\text{C}$ até $2,8^{\circ}\text{C}$. Em relação ao RMSE, os valores apresentados por Nascimento et al. (2022) foram de $0,0^{\circ}\text{C}$ até $7,1^{\circ}\text{C}$ para a primavera-verão e $0,2^{\circ}\text{C}$ até $3,9^{\circ}\text{C}$ para o outono-inverno. Observa-se que os maiores valores de RMSE encontrados nesta pesquisa comparados ao de Nascimento et al. (2022). Nesse sentido, a diferença entre os resultados da LST e Tar pode ser atribuída aos efeitos da radiação solar e das características da superfície que resultam em interações mais complexa, conforme também mencionado por Phan e Kappas (2018).

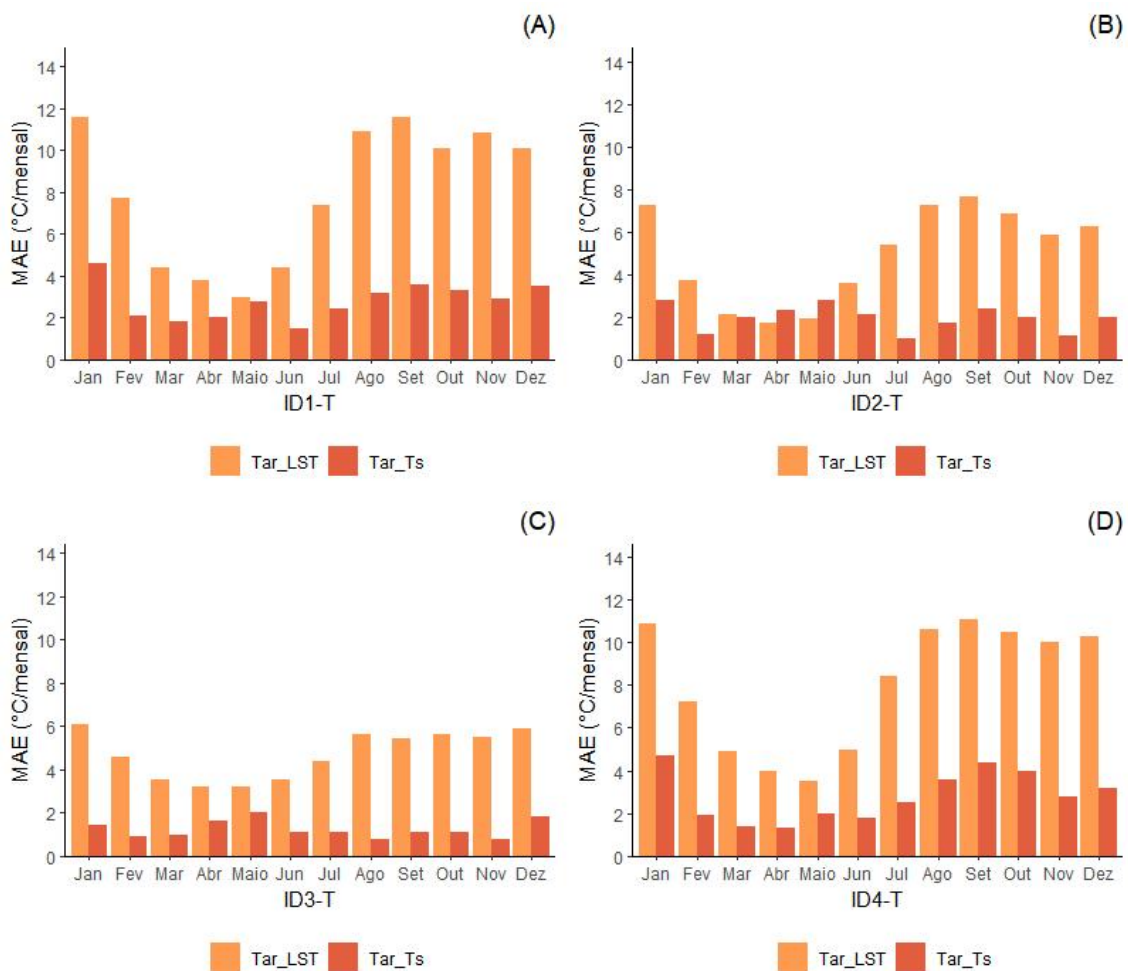
Na análise mensal, a correlação negativa entre os dados de Tar e Ts também foram observadas (em 24% dos dados). As correlações mais significativas (acima de 0,6) foram registradas para Tar e Ts (57,1%) em todos os meses com exceção de janeiro e dezembro, períodos mais quentes (ALVARES et al., 2013).

De maneira geral, observou-se que no período de agosto a janeiro os valores estimados por LST foram maiores, principalmente para os ID1, ID 4. No ID1, janeiro e setembro foram os meses que tiveram o MAE ($11,6^{\circ}\text{C}$) e RMSE ($11,7^{\circ}\text{C}$ e $11,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Os ID 2 e ID3 tiveram os menores valores de MAE para todos os meses (Figura 2). Isso também foi observado para os valores de RMSE. Assim, observa-se que geralmente entre agosto e janeiro, os maiores erros estão para LST. Entre fevereiro e junho, os erros entre Ts e LST estão mais próximos, principalmente para os ID1 e ID2. As diferentes respostas dos pontos analisados podem estar relacionadas ao tempo de ultrapassagem dos dados MODIS LST e a Tar. Atrelado também às características da superfície terrestre e a radiação solar (PHAN; KAPPAS, 2018).

Para o índice d, os resultados do ID3 foram mais variáveis em comparação aos demais. Além disso, esse ponto registrou os maiores valores do índice d, sendo o mais elevado de 0,9 para novembro. Geralmente, os valores do índice para Ts foram mais elevados, com exceção de fevereiro e julho para o ID1 e março e abril para o ID2. O índice d foi muito baixo entre setembro e janeiro para os ID2 e ID4, inferior a 0,2.

Para o ID4, todos os meses tiveram o índice d maior para o Ts em comparação do LST. O índice d foi maior em abril (0,6) e menor em janeiro (0,2) para a Ts. Para o LST, o maior valor foi em maio (0,4) e o menor em janeiro (0,1).

Figura 2: Métricas estatísticas aplicada para os dados mensais entre os dados de temperatura de superfície (Ts e LST) e de temperatura do ar para as distintas estações meteorológicas (ID1, ID2, ID3 e ID4).



Os valores de Pbias mensais tiveram variação similar com o Pbias sazonal, os valores de Ts foram subestimados em todos os pontos para quase todos os meses, exceto em janeiro, agosto e setembro. O maior valor subestimado de Pbias (-15,9%) foi para o

ID2 em maio. Em relação aos dados de LST, eles são superestimados comparados aos dados de temperatura do ar. Os dados superestimados acima de 30%, geralmente, são dados do ID1 e ID4, entre os meses de julho e janeiro, correspondendo ao período de inverno, primavera e verão, sendo este último o período de maior aquecimento em função da incidência dos raios solar (BARRY; CHORLEY, 2013).

Assim, os dados do MODIS Aqua Ts (média entre as duas bandas) utilizados nesta pesquisa são os que mais se aproximam dos dados de temperatura do ar, corroborando com Phan e Kappas (2018). Segundo os autores o MODIS Aqua está mais próximo da ocorrência das temperaturas mais altas e mais baixas no ciclo diurno. Nesse sentido, Yu et al. (2019) compararam o desempenho das diferentes combinações de temperatura de superfície, as combinações incluindo pelo menos um LST noturno produziram estimativas de temperatura mínima e temperatura média mais estáveis e de alta precisão, enquanto as combinações com apenas LST diurno produziram resultados de precisão muito baixa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com essa análise entre os dados de temperatura de sensoriamento remoto e de superfície, observou-se que os dados de temperatura média de superfície (Ts) foram os que mais se assemelharam aos dados de temperatura do ar. Assim, os resultados dos produtos orbitais de temperatura de superfície mostraram-se promissores para a análise ambiental e climática em locais onde os dados de temperatura do ar são escassos. No entanto, são necessárias mais análises, combinações de bandas e testes com outros produtos de satélites para desenvolver novas modelagens que se aproximem mais dos dados de temperatura do ar.

Palavras-chave: Validação, produtos orbitais, sazonalidade, Sistema Costeiro-Cananéia-Iguape.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo por intermédio da bolsa de pós-doutorado (Processo:2022/02383-3). O segundo autor agradece ao CNPq por meio da concessão da bolsa de Pesquisa e Produtividade (1D).

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- BARRY, G.; CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather, and climate**. 8th ed, Routledge, 2013. p.462.
- CARDOSO, R.D.S.; AMORIM, M.C.C.T. Propriedades da superfície e variáveis climáticas para modelagem de zonas climáticas locais em Presidente Prudente. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 17, Vol.28, 2021.
- CHAI, T.; DRAXLER. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?. **Geoscientific Model Development**, v.7, p.1525-1534, 2014. DOI: 10.5194/gmdd-7-1525.
- DUAN, S.B.; LI, Z.L.; LI, H.; GÖTTSCHE, F.M.; WU, H.; ZHAO, W.; LENG, P.; ZHANG, X.; COLL, César. Validation of Collection 6 MODIS land surface temperature product using in situ measurements. **Remote Sensing of Environment**, v.225, p.16-29, 2019. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.020.
- LI, Z.L.; TANG, B.H.; WU, H.; REN, H.; YAN, G.; WAN, Z.; TRIGO, I.F.; SOBRINO, J.A. Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives. **Remote Sensing of Environment**, v.131, p.14-37, 2013. DOI: 10.1016/j.rse.2012.12.008.
- MAO, K.B.; MA, Y.; TAN, X.L.; SHEN, X.Y.; LIU, G.; LI, Z.L.; CHEN, J.M.; XIA, L. Global surface temperature change analysis based on MODIS data in recent twelve years. **Advances in Space Research**, v.59, n.2, p.503-512, 2017. DOI: 10.1016/j.asr.2016.11.007.
- NASCIMENTO, A.C.L.; GALVANI, E.; GOBO, J.P.A.; WOLLMANN, C.A. Comparison between air temperature and land surface temperature for the city of São Paulo, Brazil. **Atmosphere**, v.13, n.3, p.491, 2022. DOI: 10.3390/atmos13030491.
- PHAN, T.N.; KAPPAS, M.; NGUYEN, K.T.; TRAN, T.P.; TRAN, Q.V.; EMAM, A.R. Evaluation of MODIS land surface temperature products for daily air surface temperature estimation in northwest Vietnam. **International Journal of Remote Sensing**, v.40, n.14, p.1-19, 2019. DOI:10.1080/01431161.2019.1580789
- PHAN, T.N.; KAPPAS, M. Application of MODIS land surface temperature data: a systematic literature review and analysis. **Journal Of Applied Remote Sensing**, [S.L.], v.12, n.04, e041501, 2018. SPIE-Intl Soc Optical Eng. <http://dx.doi.org/10.1117/1.jrs.12.041501>.
- USGS (United States Geological Survey). **Imagens Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v061/>>. Acesso em 10 de agosto 2022.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.; DAVIS, R.E.; FEDDEMAN, J.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985. DOI: 10.1029/JC090iC05p08995
- WILLMOTT, C.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v.30, p.79-82, 2005. DOI:10.3354/cr030079
- NASA. **The Landsat Program**. Washington: NASA, 2022. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- YU, W.; MA, M.; WANG, X.; GENG, L.; TAN, J.; SHI, J. Evaluation of MODIS LST Products Using Longwave Radiation Ground Measurements in the Northern Arid Region of China. **Remote Sensing**, v.6, n.11, p.11494-11517, 2014. DOI: 10.3390/rs6111494.



**Simpósio Brasileiro
de Geografia Física Aplicada**

IV Encontro Lusofonamericano de Geografia Física e Ambiente

YU, P.; ZHAO, T.E.; SHI, J.; RAN, Y.; JIA, L.; JI, D.; XUE, H. Global spatiotemporally continuous MODIS land surface temperature dataset. **Scientific Data**, v.9, n.1, p.1-15, 2022. DOI: 10.1038/s41597-022-01214-8.

ZHAO, Bing; MAO, Kebiao; CAI, Yulin; SHI, Jiancheng; LI, Zhaoliang; QIN, Zhihao; MENG, Xiangjin. A combined Terra and Aqua MODIS land surface temperature and meteorological station data product for China from 2003–2017. *Earth Syst. Sci. Data Discuss*, [S.L.], p. 1-39, 11 out. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-2019-155>.