

Potencial da TST registrado pelo sensor MODIS em medir temperatura do ar comparado àquelas estimadas pelo ECMWF e por estações meteorológicas

Christiano Luna Arraes¹
Rubens Augusto Camargo Lamparelli²
Jansle Vieira Rocha¹

¹Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FEAGRI
Av. Candido Rondon, 501 – 13083-875 - Campinas - SP, Brasil
christianoarraes@yahoo.com.br; jansle.rocha@agr.unicamp.br

²Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura-
CEPAGRI/UNICAMP
CEP 13083-970 - São Campinas - SP, Brasil
rubens@cpa.unicamp.br

Abstract. The high temperature occurrences associated with the low water level in the Paraná state have been one of the main factors of decrease in beans production. This study had the main objective to evaluate which is the correlation between the surface temperature acquired from MODIS sensor and ECMWF model with air temperature from meteorological ground stations from SIMEPAR. The results have showed that the correlation between the data from ECMWF and from meteorological ground stations from SIMEPAR was over 70%. The RMSE in the majority of dates analyzed were less than 2.0 showing data similarity. The correlation between air temperature acquired from ECMWF and TST, estimated by MODIS sensor were not significant. The RMSE was above 11.0 for the minimum temperature from TST SIMEPAR data. Although for the maximum temperature from SIMEPAR with MODIS data the RMSE was lower than 4.0 showing the data proximity. The ECMWF model can be used to estimate the Paraná state temperature, but it hasn't a good correlation with the rain data from meteorological ground stations. The TST had weak correlation with air temperature data from meteorological ground stations.

Palavras-chave: Remote Sensing, Sensoriamento Remoto, Paraná, Paraná state, Surface Temperature, Temperatura de superfície, Monitoring, Monitoramento

1. Introdução

Potencialmente os maiores usuários do serviço de previsão do tempo são os agricultores. Para o produtor rural, dados meteorológicos são fundamentais para seu planejamento e tomada de decisão. Dados de temperatura de superfície terrestre (TST) obtidos por sensoriamento remoto constituem uma importante ferramenta no monitoramento agrícola, devido principalmente, a escassez de estações meteorológicas nas vastas áreas agrícolas do Brasil (PEREIRA et al. 2002). Para tentar suprir essa carência de estações meteorológicas, pesquisadores, como Rojas (2007), utilizaram o modelo atmosférico global denominado ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) que é o resultado da coleta de dados meteorológicos de diversas estações espalhadas por todo o globo terrestre, bem como dados provenientes de radares e satélites, disponibilizados pelo Joint Research Centre (JRC). (JRC, 2008).

O sensor *MODIS* (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento desenvolvido pela Goddard Space Flight Center (NASA) que opera em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 0,4 a 14,4 μm e resolução espacial que varia de 250 a 1.000 metros. Dentre os vários produtos que podem ser obtidos do sensor MODIS podemos destacar o produto MOD11 (temperatura da superfície da terra e emissividade), utilizado por diversos pesquisadores para estimar a TST em diferentes culturas agrícolas, visto a importância deste parâmetro para o desenvolvimento das espécies vegetais (PARIDA et al. (2008); CHANG et al. (2007); LI et al., (2008)).

Lazarim e Zullo Jr (2009), utilizando quatro algoritmos, correlacionaram valores da temperatura do ar e de relva de estações meteorológicas de superfície com TST obtidas do sensor AVHRR, avaliando sua adequação para mapear a temperatura de superfície no Estado do Paraná, em três datas de ocorrência de geada. Os autores encontraram correlações significativas para todos os algoritmos estudados, mostrando que imagens de satélite podem ser utilizadas no monitoramento da TST, por possuir maior detalhamento, uma vez que nas imagens orbitais os valores são estimados a cada 1,21km² enquanto as estações, muitas das vezes, localizam-se a 100 km de distância uma das outras.

Rhee et al., (2010) avaliaram as condições de seca em duas regiões dos Estados Unidos, a partir de um modelo que combina dados de temperatura de superfície e índices de vegetação do sensor MODIS com dados de precipitação do programa espacial *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Os resultados mostraram que podem ser utilizados para monitoramento da seca em regiões úmidas e áridas.

Gusso et al., (2007) mapearam a TST no Estado do Rio Grande do Sul, correlacionando dados de temperatura do ar, registrado por 13 estações meteorológicas, com dados do sensor AVHRR/NOAA. Os autores compararam três algoritmos clássicos (KERR et al. (1992); BECKER e LI (1990); SOBRINO et al. (1993)) encontrando correlação significativa para os três algoritmos, sendo um R² de 0,73, para o método de Kerr et al. (1992) e Becker & Li (1990), e 0,77, para o método de Sobrino et al. (1993), mostrando que a TST, calculada por meio destes algoritmos, possui correlação com a temperatura do ar.

Vera et al., (2010) objetivou encontrar o melhor ajuste entre os dados de TST, calculados por diferentes algoritmos do tipo *Split-Window*, com dados de temperatura do solo registrados em *situ*, na região de La Araucanía, Chile. Os resultados mostraram correlação superior a 80% para todos os algoritmos testados, verificando melhor ajuste para o algoritmo desenvolvido por Sobrino e Raissouni (2000) por se aproximar dos dados de temperatura do solo registrados em *situ*.

A ocorrência de temperaturas elevadas associado a déficit hídrico no Estado do Paraná tem sido um dos principais fatores que causam redução na produção de grãos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar, qual o grau de correlação entre a temperatura de superfície adquirida pelo sensor MODIS, quando comparado a temperatura do ar oriunda do modelo ECMWF e estações meteorológicas.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado no Estado do Paraná, segundo maior produtor de soja do Brasil. Localiza-se na região Sul do Brasil entre as latitudes sul 22°29'30"S e 26°42'59"S, e as longitudes 48°02'24"O e 54°37'38"O e extensão territorial de 199.281,7 km². Segundo a classificação climática de Köeppen o Estado possui três tipos de clima Af, Cfa e Cfb correspondentes a clima tropical úmido, clima temperado úmido com verão quente e clima temperado úmido com verão temperado, respectivamente. A maior parte do território está contida entre as altitudes de 300 a 600 metros ao nível do mar. Os solos mais representativos do estado são Argissolos, Alissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos e afloramentos rochosos (EMBRAPA, 1999).

Foram selecionadas 30 datas para estudo, compreendidas entre as datas 20/09/2007 a 20/10/2007, devido à ocorrência de déficit hídrico no 1º decêndio de outubro, o que levou a atraso no plantio da soja (ARAÚJO, 2010).

Para cada data foi obtido dados de precipitação, temperaturas (máximas, médias e mínimas), fornecidas pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) para os municípios: Antonina, Apucarana, Assis Chateaubriand, Cambará, Campo Mourão, Cândido de Abreu, Cascavel, Cerro Azul, Curitiba, Guarapuava, Teixeira Soares, Pinhão, Foz do Iguaçu, Guaíra,

Guarapuava, Guaratuba, Jaguariaiva, Lapa, Londrina, Maringá, Nova Prata do Iguaçu, Palmas, Palmital, Palotina, Paranavaí, Pato Branco, Pinhais, Ponta Grossa, Capitão Leônidas Marque, Quedas do Iguaçu, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu, Telêmaco Borba, Toledo, Umuarama, União da Vitória, Cianorte e Pinhão.

Também foi utilizado dados diários de precipitação, temperatura máxima, média e mínima, procedente do modelo ECMWF fornecido pelo JRC com resolução espacial de 0,25° e dados diários de TST do sensor MODIS/TERRA, produto MOD11A1 com resolução espacial de 1km, disponibilizado gratuitamente pela NASA (<https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&EchoLoginevent=BYE>). Os dados de chuva foram utilizados, pois é um dos fatores primordiais que regem a temperatura.

Após aquisição de todos os dados de TST foi criada uma rotina IDL (*Interactive Data Language*) para gerar imagens de TST em graus célsius, conforme Equação 1.

$$TST(^{\circ}C) = (ND * 0.02) - 273,15 \quad (1)$$

sendo:

TST = temperatura de superfície terrestre, em graus célsius;

ND = valor do número digital de cada pixel da imagem.

Os dados de precipitação, temperaturas (máximas, médias e mínimas) provenientes do modelo ECMWF são fornecidos em ponto de grade regular de 0,25°, portanto foram interpolados para 1km utilizando o interpolador, inverso do quadrado da distância (sigla em inglês IDW), com potência 2, por ponderar o valor estimado com o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e o estimado, para todas as datas estudadas (Equação 2). Amorim et al. (2008) utilizando IDW com potência 2 interpolaram dados de precipitação, obtendo bons resultados. Caruso e Quarta (1998) e Campling et al. (2001) comentam que pode-se utilizar ferramentas de interpolação para estimar variáveis meteorológicas em locais onde não há estações de coleta de dados, representando bem os fenômenos estudados.

$$K = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j}{d_{ij}^k} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^k} \right)} \quad (2)$$

sendo:

n = número de pontos da amostra;

k = coeficiente da potência do interpolador;

x_i = valor estimado no ponto i;

d_{ij} = distância entre os pontos i e j;

x_j = valor amostrado de x no ponto j.

Tomado como base as coordenadas geográficas das estações meteorológicas do SIMEPAR foi possível corresponder os dados de precipitação, temperatura do ar (mínima, média e máxima) com os dados localizados nos pixels das imagens interpoladas do modelo ECMWF, fornecido pelo (JRC), e TST, registrado pelo sensor MODIS.

Em seguida foram geradas as correlações:

- Precipitação (SIMEPAR) x (ECMWF);
- Temperatura do ar (mínima, média e máxima) do SIMEPAR x Temperatura do ar (mínima, média e máxima) do modelo ECMWF e

- Temperatura do ar (mínima, média e máxima) do SIMEPAR x TST registrado pelo sensor MODIS.

A fim de avaliar o grau de correlação entre os dados meteorológicos, registrados pelas estações do SIMEPAR, com os dados do modelo ECMWF e TST/MODIS, foram utilizadas as medidas de: raiz quadrada do erro médio (RMSE), usado para medir diferenças entre os valores estimados em relação ao observado e o coeficiente de determinação (R^2) que mostra o ajuste dos dados à reta de regressão (WILLMOTT e MATSUURA, 2005).

3. Resultados e Discussão

As Figura 1(a), 1(b) e 1(c), mostra um exemplo da interpolação (IDW) para as temperaturas do ar (mínima, média e máxima), do dia e 28/09/2007, respectivamente. Os resultados revelam que a porção sudeste do estado apresenta as menores temperaturas influenciadas principalmente pelas altitudes mais elevadas, observado no mapa hipsométrico do Estado (Figura 1(d)), como também pelas correntes marítimas, em especial pela corrente do Brasil, que se move no sentido sul-norte da costa brasileira.

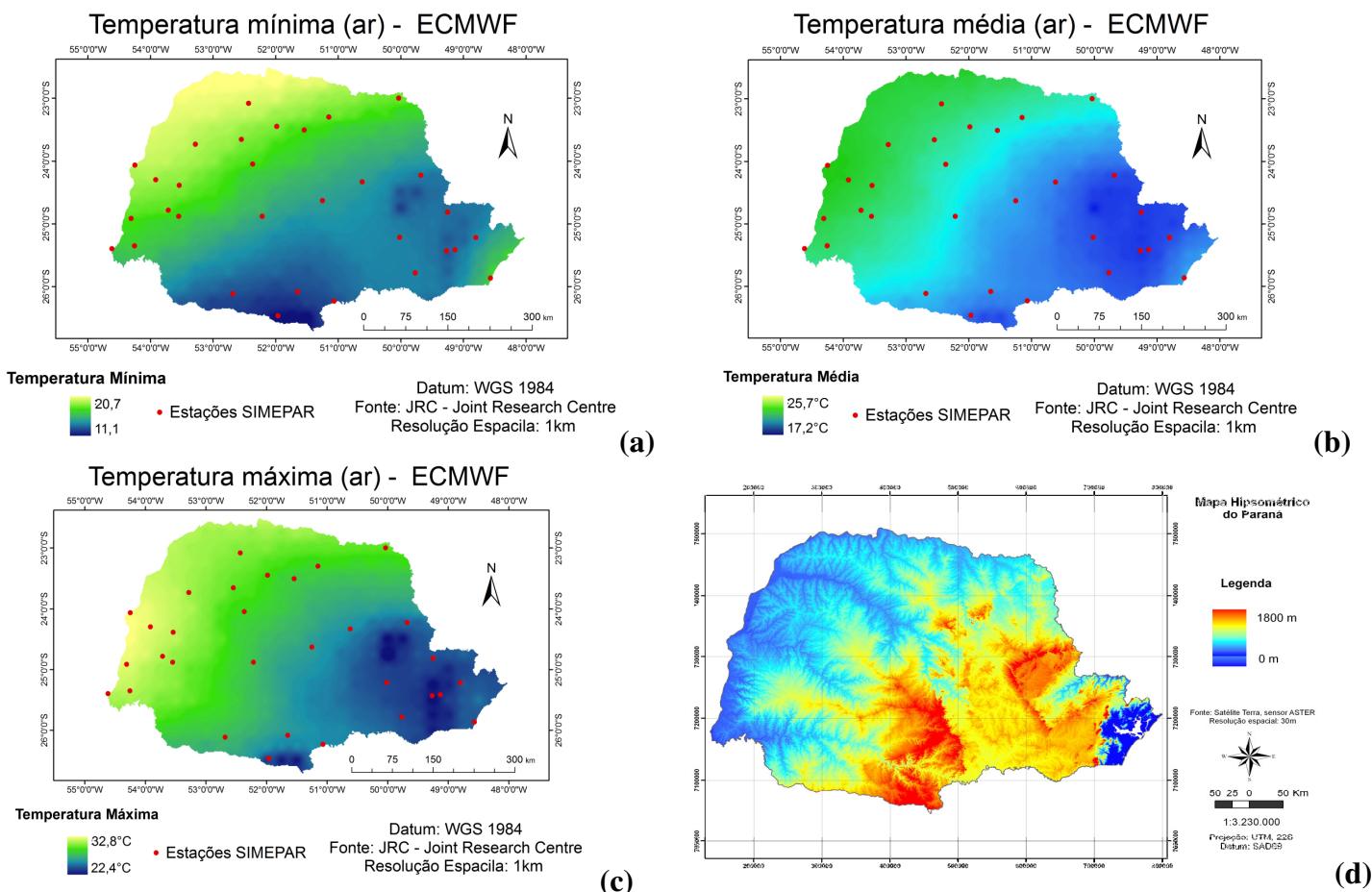


Figura 1. Temperatura mínima (a), média (b) e máxima (c) do modelo ECMWF, e mapa Hipsométrico (d) do Estado do Paraná.

A Figura 2 representa a TST, registrada pelo sensor MODIS, para o dia 28/09/2007. Observa-se as maiores temperaturas na porção noroeste do Estado, concordando com a temperatura do ar registrado pelas estações meteorológicas da rede SIMEPAR Figuras 1(a,b, c).

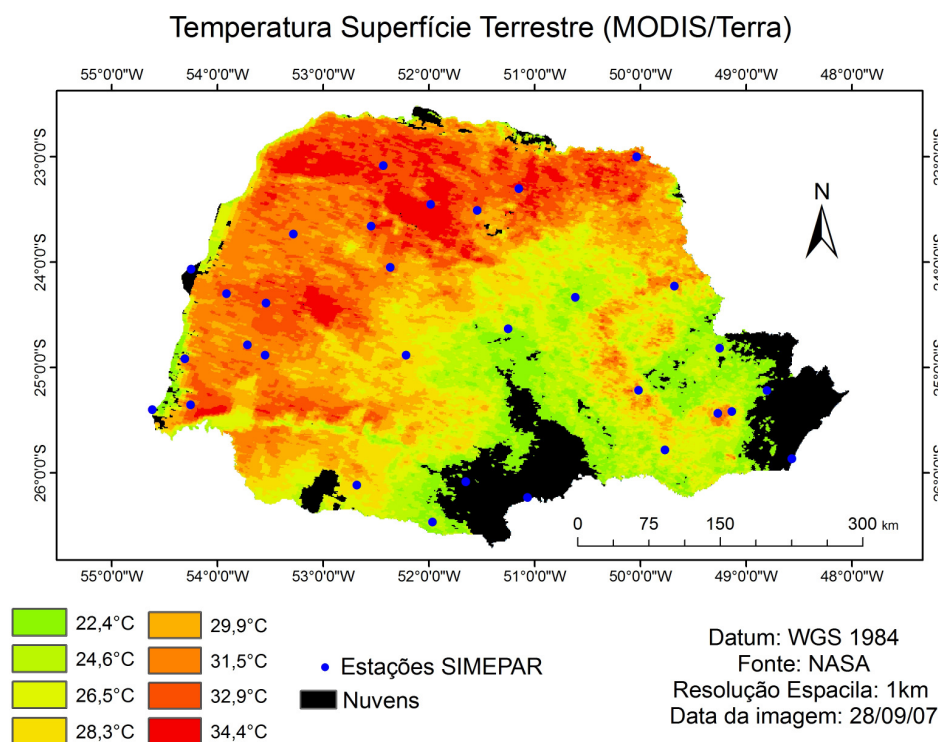


Figura 2. Temperatura Superfície Terrestre (MODIS/Terra), Estado do Paraná.

O estudo compreendeu o início da primavera. Neste sentido as chuvas são decorrentes do deslocamento de sistemas frontais (frentes frias ou quentes) como também eventos de curta duração que se desenvolvem no estado devido à associação das altas temperaturas com a maior quantidade de umidade no ar (SIMEPAR, 2010). As ocorrências de eventos severos como rajadas de ventos moderadas a fortes, granizos e grande quantidade de raios fazem parte da climatologia da estação da primavera no Paraná.

A Tabela 1 mostra que os dados de precipitação do modelo ECMWF, apresentaram correlação fraca com os dados de precipitação das estações meteorológicas o que esta de acordo com a descrição anterior, na medida em que são predominantes os fenômenos de curta duração. Burrough (1987) comenta que quando os dados apresentam distribuição espacial uniforme, os métodos de interpolação apresentam resultados similares aos observados em campo. No entanto, quando os dados apresentam distribuição espacial desuniforme, os interpoladores apresentam limitações para representar a variável meteorológica estudada.

A correlação entre os dados de temperatura do ar (mínima, média e máxima) do modelo ECMWF versus SIMEPAR foram superior a 70%, na maioria das datas estudadas, revelando que o modelo ECMWF pode ser utilizado para estimar as temperaturas (mínimas, médias e máximas) do estado do Paraná.

O RMSE foi inferior a 2,0 ressaltando a proximidade dos valores estimados pelo modelo ECMWF e registrados pelas estações do SIMEPAR. Long et al., (2006) correlacionando dados de temperatura máxima e mínima das estações meteorológicas convencionais com dados do modelo ECMWF, encontraram valores de R^2 superior a 90%, com melhor ajuste para as temperaturas máximas. Ainda encontraram RMSE inferior a 2,0 concordando com os resultados encontrados no presente trabalho.

A correlação entre os dados de temperatura do ar (mínima, média e máxima), estimado pelo modelo ECMWF e os dados de TST registrado pelo sensor MODIS não foram

significativos, pois não apresentaram coeficiente de determinação superior a 30%, para maioria das datas analisadas.

O RMSE da correlação temperatura mínima (SIMEPAR) versus TST registrado pelo sensor MODIS foi superior a 11,0. Ressaltando que se trata de duas fontes distintas, sendo: temperatura do ar a 2m de altura e temperatura da superfície terrestre.

Porém para a correlação entre os dados de temperatura máxima do SIMEPAR versus TST registrado pelo sensor MODIS, o RMSE foi inferior a 4,0, revelando que a TST se aproxima mais dos dados de temperatura máxima, registrada pelas estações do SIMEPAR.

Ataíde et al. (2009) correlacionaram dados de TST (MODIS) com dados de temperatura do ar, registrados no momento da passagem do satélite, encontraram correlação superior a 80%, mostrando que apesar de se tratar de duas fontes distintas de temperatura existe uma forte correlação entre os dados registrados pelas estações com os dados registrados pelo sensor MODIS.

Tabela 1. RMSE e correlações lineares entre os dados das estações meteorológicas do SIMEPAR, modelo ECMWF e TST do sensor MODIS.

Dias	Precipitação		Temp. Mínima Simepar x ECMWF		Temp. Média Simepar x ECMWF		Temp. Máxima Simepar x ECMWF		Temp. Mínima Simepar x MODIS		Temp. Média Simepar x MODIS		Temp. Máxima Simepar x MODIS	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
20/09/2007	4,3	0,0	2,0	0,5	5,6	0,6	2,5	0,5	11,1	0,2	4,7	0,3	5,0	0,0
21/09/2007	29,7	0,0	1,7	0,7	1,6	0,8	2,7	0,7	10,8	0,6	6,6	0,8	2,8	0,8
22/09/2007	9,3	0,1	1,4	0,7	1,5	0,7	4,0	0,6	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
23/09/2007	6,2	0,0	2,8	0,2	2,9	0,2	2,4	0,4	13,3	0,3	6,5	0,6	4,2	0,4
24/09/2007	0,6	0,6	3,5	0,7	2,9	0,8	2,1	0,8	12,3	0,5	5,9	0,4	3,0	0,3
25/09/2007	0,4	0,0	2,1	0,7	1,7	0,7	1,7	0,7	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
26/09/2007	1,8	0,2	1,3	0,7	1,2	0,9	2,0	0,9	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
27/09/2007	4,6	0,1	1,4	0,7	1,3	0,9	2,6	0,8	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
28/09/2007	4,0	0,2	1,7	0,7	1,6	0,8	2,8	0,4	13,7	0,1	9,7	0,4	4,9	0,4
29/09/2007	15,7	0,0	1,6	0,8	1,4	0,7	2,4	0,7	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
30/09/2007	0,6	0,2	1,4	0,8	1,5	0,8	1,9	0,8	12,8	0,2	7,6	0,4	2,9	0,4
01/10/2007	0,1	0,2	1,6	0,7	1,1	0,9	1,8	0,9	17,1	0,1	9,4	0,3	3,3	0,4
02/10/2007	0,1	0,4	1,3	0,9	1,2	0,9	1,7	0,9	17,0	0,3	9,6	0,4	4,2	0,2
03/10/2007	0,5	0,0	1,5	0,8	1,7	0,8	2,5	0,6	15,5	0,3	9,9	0,5	4,6	0,3
04/10/2007	0,2	0,1	2,0	0,7	1,6	0,9	2,2	0,8	13,5	0,1	8,1	0,2	3,2	0,3
05/10/2007	2,2	0,0	1,8	0,8	1,2	0,9	1,9	0,8	16,5	0,4	9,5	0,6	3,4	0,5
06/10/2007	9,3	0,0	2,5	0,5	1,4	0,8	2,0	0,7	13,0	0,3	5,7	0,4	4,9	0,3
07/10/2007	2,6	0,0	1,5	0,6	1,2	0,7	3,2	0,3	15,9	0,3	10,5	0,2	4,8	0,0
08/10/2007	1,1	0,0	2,9	0,4	1,6	0,8	2,6	0,8	6,8	0,3	3,2	0,1	8,5	0,1
09/10/2007	0,3	0,3	1,9	0,7	1,6	0,8	2,1	0,8	15,3	0,2	9,5	0,3	4,2	0,2
10/10/2007	4,1	0,1	2,0	0,7	1,3	0,8	2,1	0,6	16,1	0,5	9,2	0,8	3,1	0,2
11/10/2007	2,2	0,2	1,5	0,7	1,4	0,8	4,4	0,5	11,5	0,2	7,7	0,2	4,9	0,3
12/10/2007	16,2	0,1	1,7	0,6	1,4	0,6	2,8	0,6	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
13/10/2007	11,2	0,2	1,3	0,7	1,2	0,6	2,4	0,5	12,3	0,0	7,2	0,0	4,3	0,4
14/10/2007	14,2	0,1	1,0	0,8	1,1	0,9	2,6	0,8	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
15/10/2007	9,8	0,7	1,0	0,9	1,2	0,8	2,8	0,7	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
16/10/2007	8,3	0,4	1,2	0,6	0,9	0,9	1,9	0,8	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
17/10/2007	1,4	0,2	1,4	0,6	1,1	0,8	1,5	0,8	11,2	0,2	5,9	0,2	5,6	0,1
18/10/2007	2,5	0,0	1,7	0,7	1,0	0,7	3,9	0,5	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem	nuvem
19/10/2007	0,5	0,0	1,4	0,5	1,2	0,8	1,6	0,7	17,1	0,0	10,9	0,4	5,6	0,5
20/10/2007	2,4	0,0	3,3	0,3	1,4	0,8	1,7	0,7	15,8	0,0	9,0	0,2	4,8	0,0

4. Conclusões

A correlação entre os dados de precipitação do modelo ECMWF versus precipitação registrada pelas estações meteorológicas do SIMEPAR foi muito baixa indicando a não possibilidade de estimar chuva utilizando o modelo, pelo menos nas datas analisadas.

A correlação entre os dados de temperatura do ar registrado pelas estações SIMEPAR versus temperatura do modelo ECMWF foram superior a 70%, mostrando a possibilidade de

utilização do modelo ECMWF para estimar as temperaturas (mínima, média e máxima) no Estado do Paraná.

A TST registrada pelo sensor MODIS não apresentou correlação significativa com os dados de temperatura do ar provenientes da rede de estações automáticas do SIMEPAR. É necessário, neste caso, do estudo de novas alternativas no tratamento da TST com o objetivo de aumentar a correlação.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Doutorado ao primeiro autor deste trabalho. Ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e Joint Research Centre (JRC) pelo fornecimento dos dados meteorológicos de superfície do estado do Paraná.

Referências Bibliográficas

Amorim, R. C. F.; Ribeiro, A.; Leite, C. C.; Leal, B. G.; Silva, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientífica Technol**, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

Araújo G. k. D. Determinação e mapeamento de início do ciclo para culturas de verão no estado do Paraná por meio de imagens de satélite e dados de precipitação. 2010. 141 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas. 2010.

Ataíde, K. R. da P.; Ledo, I. M. D.; Oliveira, M. da G. R.; Bezerra, W. A. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície obtida pelo sensor MODIS para o estado de Goiás. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 25, de abril 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 3495-3502. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.31.16/doc/3495-3502.pdf>> Acesso em 15 ago. 2010

Becker, F.; Li, Z.-L. Towards a local split-window method over land surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, p.369-393, 1990.

Burrough, P. A., **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.

Caruso, C; Quarta, F. Interpolation methods comparison. **Computers & Mathematics with Applications**. v. 35, n. 12, p. 109 – 126, 1998.

Campling, P; Gobin, A; Feyen, J. Temporal and spatial rainfall analysis across a humid tropical catchment. **Hydrologic Process**. v. 15, p. 359 - 375, 2001.

Chang, J.; Hansen, M.C.; Pittman, K.; Carroll, M.; DiMiceli, C. Corn and Soybean Mapping in the United States Using MODIS Time-Series Data Sets. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1654-1664, 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

Gusso, A.; Fontana, D. C.; e Gonçalves, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.231-237, 2007.

Instituto Tecnológico (SIMEPAR). **Previsão Climática para a Primavera/2010**. Disponível em: <<http://www.simepar.br/tempo/clima/clima.jsp>>. Acesso em: 08. nov.2010.

JRC - Joint Research Centre. **Dados meteorológicos simulados pelo modelo do ECMWF**. 2008. Disponível em: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Aboutus/FOODSEC/Data-Distribution>. Acesso em 10 de outubro de 2010.

Kerr, Y.H.; Lagouarde, J.P.; Imbernom, J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v.41, p.197-209, 1992.

Lazarim, C. G.; Zullo Jr., Jurandir; Estimativa da temperatura da superfície terrestre, através de imagens do satélite AVHRR/NOAA, destinada ao monitoramento agrometeorológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 25, de abril 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 6943-6949. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://martedpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.20/doc/6943-6949.pdf>. Acesso em 15 ago. 2010

Li, Z. Y.; Wang, Q.; Zhou, J.; Wu, J.; Peng,.; H. Chang. Spatiotemporal variability of land surface moisture based on vegetation and temperature characteristics in Northern Shaanxi Loess Plateau, China. **Journal of Arid Environments**. v. 72, p. 974-985. 2008.

Long, M. E. F.; Hurtado, R. H.; Murphy, G. M. Validación de las temperaturas máximas y mínimas diarias de la región pampeana estimadas por el modelo atmosférico del ecmwf. In: 2nd INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 9 a 11 de Outubro 2006, Montevideo. **Anais...** Montevideo : JRC-IPSC-AGRIFISH-INIA-GRAS, 2006. Artigos, p. 24-30. CD-ROM, On-line.. Disponível em: <ftp://marsis.jrc.it/Bulletin/SouthAmerica/proceedings_workshop_montevideo.pdf>. Acesso em 01 nov. 2010.

Parida, B. R.; Oinam B.; Patel, N.R.; Sharma N.; Kandwal R.; Hazarika, M.K.. Land surface temperature variation in relation to vegetation type using MODIS satellite data in Gujarat state of India. **International Journal of Remote Sensing**. v. 29, n. 14, p. 4219-4235. 2008.

Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba/RS: Agropecuária, 2002. 479p.

Rojas, O. Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agrometeorological data in Kenya. **International Journal of Remote Sensing**. v. 28, n. 17, p. 3775-3793, 2007.

Rhee, J.; Im, J.; Carbone, G. J. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**. v. 114, p. 2875-2887, 2010.

Sobrino, J.A.; Raussoni, N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, p. 353-366, 2000.

Sobrino, J.A.; Caselles, V.; Coll, C. Theoretical split-window algorithms for determining the actual surface temperature. **Il Nuovo Cimento C**, v.16, p.219-236, 1993.

Vera, L.; Parra, J. C.; Morales, L.; Mattar, C.; Jorquera-Fontena, E. Comparative Analysis Of Split-Window Algorithms For Estimating Soil Temperature. **R.C. Suelo Nutr. Veg.** v.10, n.1, p. 35 – 39, 2010.

Willmott, C. J., 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.