

AValiação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o estado de São Paulo

RAFAEL ALDIGHERI MORAES¹; JANSLE VIEIRA ROCHA²; GLAUCO DE SOUZA ROLIM³; RUBENS AUGUSTO CAMARGO LAMPARELLI⁴ E MARCEL MOTTA MARTINS⁵

¹Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Av. Cândido Rondon, 501, CEP 13083-875, E-mail: rafael.moraes@feagri.unicamp.br

²Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Av. Cândido Rondon, 501, CEP 13083-875, E-mail: jansle.rocha@feagri.unicamp.br

³Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, rodovia Prof. Paulo Donato Castellane s/n, CEP 14884-900, E-mail: rolim@fcav.unesp.br

⁴Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, r. Cora Coralina n° 330, CEP 13083-896 Campinas, SP. E-mail: rubens.lamparelli@gmail.com

⁵Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Av. Cândido Rondon, 501, CEP 13083-875, E-mail: marceluks@gmail.com

1 RESUMO

A agricultura possui dependência direta das condições do tempo e do clima. Estas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo até a colheita. De modo a acompanhar estes efeitos, são utilizados dados meteorológicos, que são provenientes de estações automáticas ou convencionais. Devido à dificuldade de acesso aos dados em tempo quase-real, problemas técnicos e a baixa densidade de estações meteorológicas no Brasil, a utilização de dados provenientes de modelos atmosféricos, como o do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) tem se mostrado como uma alternativa. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a precisão e acurácia do modelo atmosférico ECMWF pela comparação de dados decendiais simulados de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar aos observados por mapas interpolados de estações meteorológicas do estado de São Paulo no período entre 2005 e 2010. Esta comparação foi feita pixel a pixel possibilitando, além da análise geral para o estado, uma análise regional das estimativas feitas pelo ECMWF. Como resultado, observou-se que o modelo ECMWF simula satisfatoriamente (maior parte dos resultados com $R^2 > 0,60$; $d > 0,7$; $RMSE < 5^\circ C$ e $< 50mm$; $Es < 5^\circ C$ e $< 24mm$) os elementos meteorológicos para o estado de São Paulo.

Palavras-Chave: dados meteorológicos, acurácia, precisão, índices estatísticos.

**MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; ROLIM, G. LAMPARELLI, R. A. C.; MARTINS, M.
EVALUATION OF 10-DAY PERIOD PRECIPITATION, MAXIMUM AND
MINIMUM AIR TEMPERATURE DATA FROM THE ECMWF MODEL IN SAO
PAULO STATE**

2 ABSTRACT

The weather and climate has a direct influence in agriculture, it affects all stages of farming, since soil preparation to harvest. Meteorological data derived from automatic or conventional weather stations are used to monitor these effects. These meteorological data has problems like difficulty of data access and low density of meteorological stations in Brazil. Meteorological data from atmospheric models, such as ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) can be an alternative. Thus, the aim of this study was to compare 10-day period precipitation, maximum and minimum air temperature data from the ECMWF model with interpolated maps from 33 weather stations in Sao Paulo state between 2005 and 2010 and generate statistical maps pixel by pixel. Statistical index showed spatially satisfactory (most of the results with $R^2 > 0.60$, $d > 0.7$, $RMSE < 5^\circ C$ and < 50 mm; $Es < 5^\circ C$ and < 24 mm) in period and ECMWF model can be recommended for use in the Sao Paulo state.

Keywords: meteorological data, accuracy, statistics index, ground truth.

3 INTRODUÇÃO

A utilização de dados agrometeorológicos é de suma importância para estudos que envolvem tanto a agricultura como as alterações climáticas em escala global. Segundo Pereira et al. (2002), das atividades econômicas, a agricultura é, sem dúvida, aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima, pois as condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas. Como as condições adversas do tempo são frequentes e muitas vezes imprevisíveis a médio e longo prazo, a agricultura constitui-se em atividade de grande risco.

Hodges, 1991 apud Hoogenboom, 2000, afirma que as variáveis críticas associadas com a produção agrícola são precipitação, temperatura do ar e radiação solar. Temperatura do ar é a principal variável que regula o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. A precipitação não controla diretamente nenhum processo na planta, porém é considerado um modificador que afeta indiretamente vários processos de crescimento e desenvolvimento vegetal (Hoogenboom, 2000). Essas variáveis, segundo Deppe et al. (2007), com diferentes escalas e resoluções, são necessárias, por exemplo, em modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de plantas. Long et al. (2006) afirmam que para poder realizar o monitoramento de culturas e estimativas de produtividade, é necessário se ter conhecimento do local de plantio e das condições vegetativas, de dados meteorológicos confiáveis e de modelos de estimativa de produtividade calibrados.

De um modo geral, os dados meteorológicos são provenientes de estações meteorológicas automáticas ou convencionais. O Brasil por suas dimensões continentais ainda não apresenta uma rede de estações meteorológicas que atenda às suas necessidades, sendo que em áreas mais desenvolvidas há um maior número do que em outras mais remotas (Pereira et al., 2002).

Neste sentido, a utilização de dados meteorológicos provenientes de modelos globais, como o do ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) tem se mostrado como uma alternativa aos problemas listados acima. Estes são disponibilizados gratuitamente pelo banco de dados meteorológicos do Joint Research Centre (JRC), centro de pesquisas da Comissão Européia. O ECMWF coleta informações meteorológicas de estações espalhadas por todo mundo, radares meteorológicos, satélites entre outras fontes. Essas informações são coletadas para as horas sinóticas (00, 06, 12, 18 UTC).

Estes dados são usados para produzir variáveis meteorológicas. São processados pela empresa alemã Meteo-Consult e posteriormente transferidos para o JRC (Joint Research Centre), que os coloca à disposição de usuários, via internet. Por meio de equações que descrevem características atmosféricas, os dados são processados para formar um modelo fisicamente válido da atmosfera transformando em pontos distantes 0,25 graus de latitude e longitude, resultando em variáveis para o mundo inteiro (ECMWF, 2009; Person & Grazziani, 2007). Porém, utilizando-se somente o modelo atmosférico ECMWF como base de dados meteorológicos pode se incorrer em erros como a falta de acurácia para a região desejada. Isto se agrava quando se objetiva monitorar áreas agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as estimativas decendiais de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar feitas pelo modelo global ECMWF para o estado de São Paulo. Para tanto, foram comparadas estas estimativas com dados interpolados de 33 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo (IAC) da Agência Paulista do Agronegócio (APTA).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para o estado de São Paulo considerando os anos de 2005 a 2010. Foram utilizados dados observados de precipitação e temperaturas máxima e mínima do ar, proveniente de 33 estações agrometeorológicas do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do Instituto Agrônomo (IAC) no estado de São Paulo com resolução temporal diária (Figura 1).

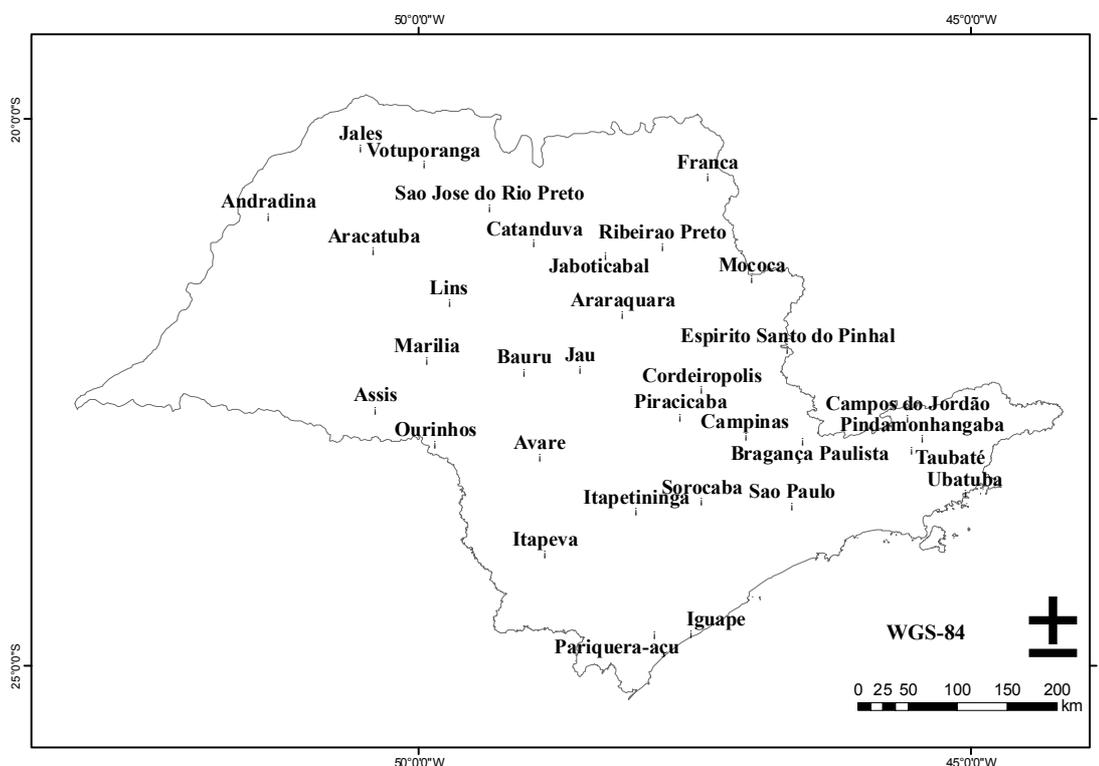


Figura 1. Distribuição das estações utilizadas do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no estado de São Paulo.

Como dados estimados, foram considerados os provenientes do modelo global ECMWF, com resolução temporal decendial (10 dias).

Na pagina eletrônica do JRC, é disponibilizado um banco de dados a partir de 1974. Esses dados são de precipitação (mm), radiação global ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$), temperatura do ar mínima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ar média ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar máxima ($^{\circ}\text{C}$), balanço hídrico climático (mm) e deposição de neve (cm), com intervalos diários, decendiais e mensais (JRC, 2011).

Todas as fases do trabalho foram executadas utilizando o software ESRI ArcMap 9.3.1 e o Microsoft Excel. As etapas do trabalho são apresentadas no fluxograma na Figura 2.

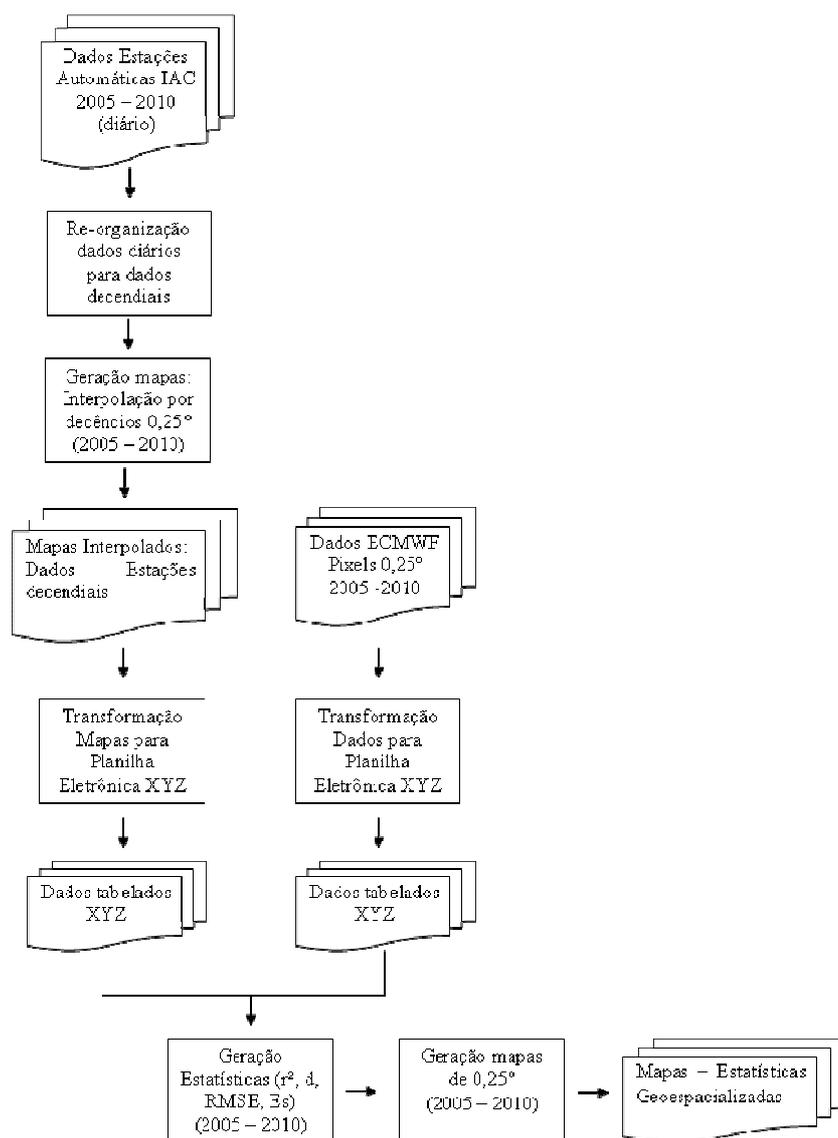


Figura 2. Fluxograma do trabalho.

Conforme o fluxograma, os dados do ECMWF foram dispostos espacialmente sobre o estado de São Paulo (figura 3) por pontos e organizados em forma de planilha eletrônica no formato XYZ. Neste, X e Y representa a latitude e longitude, respectivamente, e Z as variáveis precipitação e temperaturas do ar máxima e mínima.

Os dados das 33 estações, apresentados na Figura 1, foram re-organizados de resolução temporal diária para decencial, sendo a precipitação considerando o somatório de 10 dias e as temperaturas, a média de 10 dias. Após re-organizados, foi feita a interpolação, considerando-se as 33 estações, utilizando o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD). Conforme SODOUDI et al. (2010), utilizando dados de precipitação de estações de superfície, não houve diferença significativa entre os métodos de interpolação testados, incluindo o IQD.

Depois de obtido os mapas interpolados decencialmente das estações, estes foram exportados em formato imagem, de modo que apresentasse a mesma resolução espacial do modelo ECMWF, ou seja, $0,25^\circ$. Essas imagens foram transformadas em planilhas de cálculo no formato de X (latitude), Y (longitude), Z (precipitação e temperatura do ar máxima e mínima).

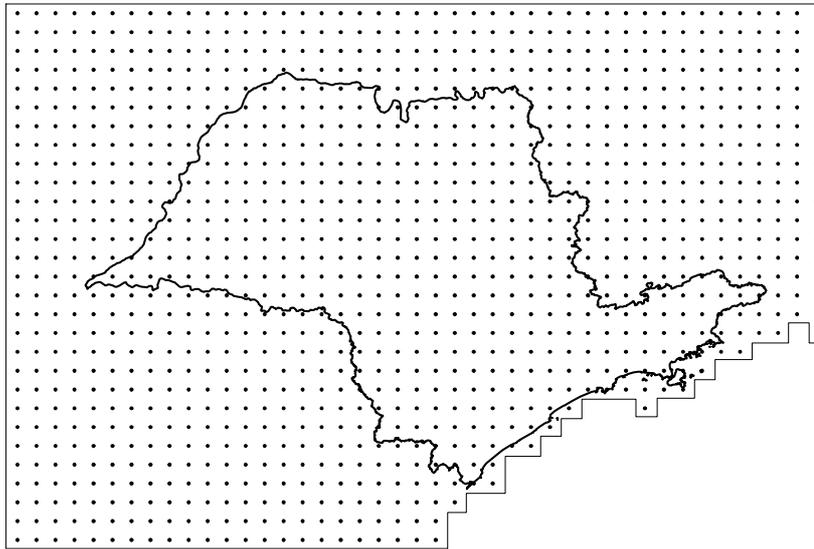


Figura 3. Pontos de dados utilizados do modelo ECMWF sobre o Estado de São Paulo.

Com os dados organizados com a mesma resolução temporal e espacial, foi possível a obtenção, para cada XY correspondente considerando o período total (2005 à 2010), dos índices de precisão pelo coeficiente de determinação (R^2) que indica o quanto da variação de Y pode ser explicado pela variação de X, variando de 0 a 1; o de exatidão (d), que expressa a distância dos valores de x e y em relação à reta 1:1, variando de 0 a 1 (Willmott, 1981), conforme equação 1; a raiz do erro médio quadrático (RMSE), que indica a magnitude média dos erros, sendo que quanto menor o valor, melhor a estimativa do modelo (varia de 0 a infinito), conforme equação 2 (Willmott et al. 2005) e o Erro Sistemático (Es), que indica se há nos dados uma tendência de sub ou superestimativa e expressa a sua magnitude, influenciando na exatidão do modelo, conforme equação 3.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|p_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)^2}{n}} \quad (2)$$

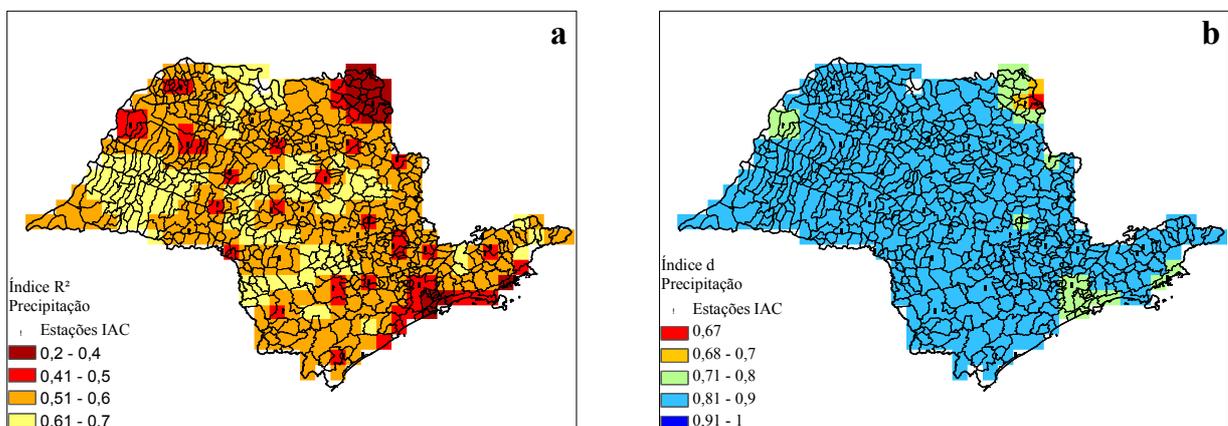
$$ES = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{ECMWF} - Y_{est})^2}{N}} \quad (3)$$

Sendo, pi o valor estimado pelo modelo ECMWF; oi o valor observado; n o número de observações; \bar{o} a média aritmética dos valores observados e \bar{p} a média aritmética dos valores estimados; Y_{ECMWF} os valores do modelo e Y_{est} os valores gerados por regressão linear simples entre os dados estimados e observados.

Assim, a partir das latitudes (X), longitudes (Y) e cada índice ou erro, os resultados foram exportados em formato shape (dados que possuem posição no espaço), representados por pontos e transformados em formato de imagem, com a mesma resolução do ECMWF (0,25°).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após processamento dos dados estatísticos foram gerados os mapas com os índices espacialmente distribuídos. Estes são divididos em precipitação e temperatura do ar mínima e máxima para o período entre os anos de 2005 e 2010. Na Figura 4 temos os mapas gerados para a precipitação.



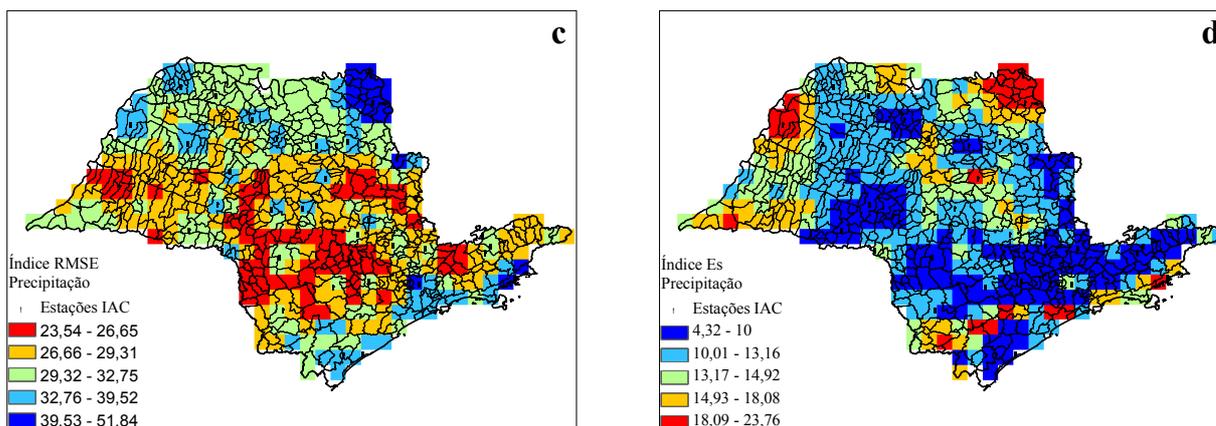


Figura 4. Índices de exatidão (d) e de precisão (R^2), RMSE e Es distribuídos espacialmente sobre o estado de São Paulo a partir de dados de precipitação do modelo ECMWF e mapas interpolados de estações de superfície do IAC para os anos de 2005 a 2010.

Verifica-se na Figura 4 que os dados do modelo ECMWF em relação à precipitação apresentou em grande parte do estado de São Paulo valores médios de precisão, com R^2 entre 0,50 e 0,70 (Figura 4a). Já o índice d apresentou na maioria das localidades valores entre 0,80 e 0,90, indicando elevada acurácia (Figura 4b). A magnitude média dos erros (Figura 4c) ficou entre 23,54 a 51,84 milímetros (mm/decêndio), sendo menor no interior do estado onde está presente a maioria das estações. Houve uma tendência positiva nos dados estimados de valor máximo 23,76 mm/decêndio, porém em grande parte com máximo de 13,16 mm (Figura 4d), mostrando uma superestimação dos valores estimados para precipitação no período considerado. As piores avaliações ocorreram a nordeste do estado, próximo à estação de Franca.

Serio et al. (2006), objetivou-se em validar os valores de precipitação do modelo ECMWF em relação a dados de estações na Argentina, e concluiu que apesar dos resultados não terem sido bons, não foram encontrados erros sistemáticos e os valores do índice RMSE foram próximos deste estudo. Porém, Deppe et al. (2006), procurando validar dados de precipitação do modelo em relação a estações no Paraná, observou que os dados possuem a mesma tendência, e que os dados poderiam ser utilizados para aplicações na escala temporal decendial.

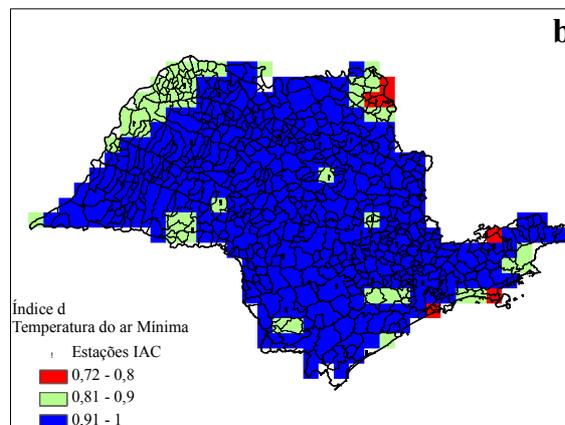
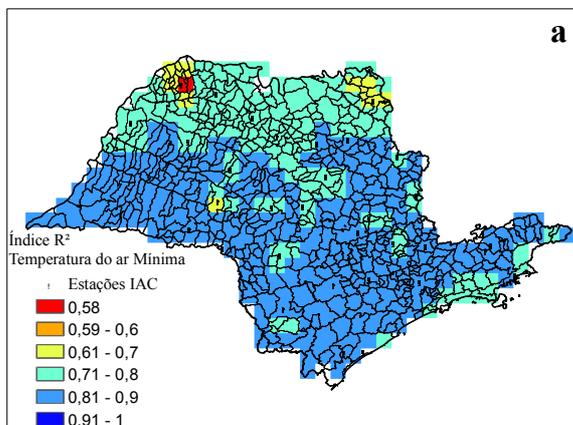
A legenda dos mapas de precipitação foi construída automaticamente, variando nos mapas das Figuras 4a e 4b a cada 0,1 e para os mapas das Figuras 4c e 4d utilizando a metodologia de classificação Jenks conforme Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2012), em que cada intervalo é determinado pelo ponto natural de quebra de cada conjunto de dados, ou seja, dentro de cada grupo há uma pequena variância e entre os grupos uma grande variância.

Nas Figuras 5 e 6 temos os mapas gerados a partir da comparação das temperaturas do ar mínima e máxima entre as estações e o modelo ECMWF, respectivamente. Para a temperatura mínima, o resultado em relação ao R^2 (Figura 5a) foi maior que 0,80 para quase a totalidade do estado, sendo que a faixa norte do estado ficou entre 0,70 e 0,80 e o restante entre 0,81 e 0,90. O índice d (Figura 5b) apresentou valores maiores que 0,91 para quase a totalidade do estado; já o índice RMSE (Figura 5c) apresentou valores de no máximo 3,49°C e um erro sistemático (Figura 5d) com intervalo máximo de 1,49 a 3,18°C para poucas áreas, sendo que em grande parte o RMSE foi menor que 1°C.

Para a temperatura máxima (Figura 6), os resultados mostraram uma baixa precisão na faixa centro-norte do estado com valores de R^2 (Figura 6a) variando entre 0,28 a 0,50. Já na faixa centro sul, os resultados apresentaram valores maiores do que 0,51. O índice d (Figura 6b) apresentou valores maiores que 0,71 em grande parte das áreas avaliadas. A magnitude dos erros expressa pela RMSE (Figura 6c) apresentou resultados menores que $4,9^\circ\text{C}$, demonstrando uma boa estimativa em relação a média dos dados das estações. O erro sistemático (Figura 6d) atingiu valores de no máximo $4,52^\circ\text{C}$ na faixa sul do estado, porém em grande parte da área agricultável do estado apresentou valores de no máximo $2,85^\circ\text{C}$. A metodologia de construção das legendas nas Figuras 5 e 6 foi a mesma utilizada para os mapas da Figura 4.

Blain et al. (2006), onde se comparou dados de temperatura do ar máxima e mínima e precipitação obtidos de estações de superfície com dados do modelo ECMWF no estado de São Paulo. A precipitação foi avaliada de forma pontual e devido a grande variabilidade espacial não foi possível fazer a análise quantitativa. Já os dados de temperatura máxima e mínima do ar, apresentaram resultados satisfatórios e que após ajustes considerando os erros, foram usados em um modelo de estimativa de produtividade. Concluiu-se que os dados do ECMWF podem ser usados para a estimativa da produtividade da soja no estado de São Paulo.

Melo et al. (2007) com objetivo de comparar a utilização de dados de estações de superfície e dados do ECMWF, aplicaram os dados diretamente sobre um modelo agrometeorológico-espectral de rendimento da soja. Analisando os resultados concluíram que os dados do ECMWF podem ser utilizados como opção para o cálculo de estimativa do rendimento da soja na região maior produtora do Rio Grande do Sul.



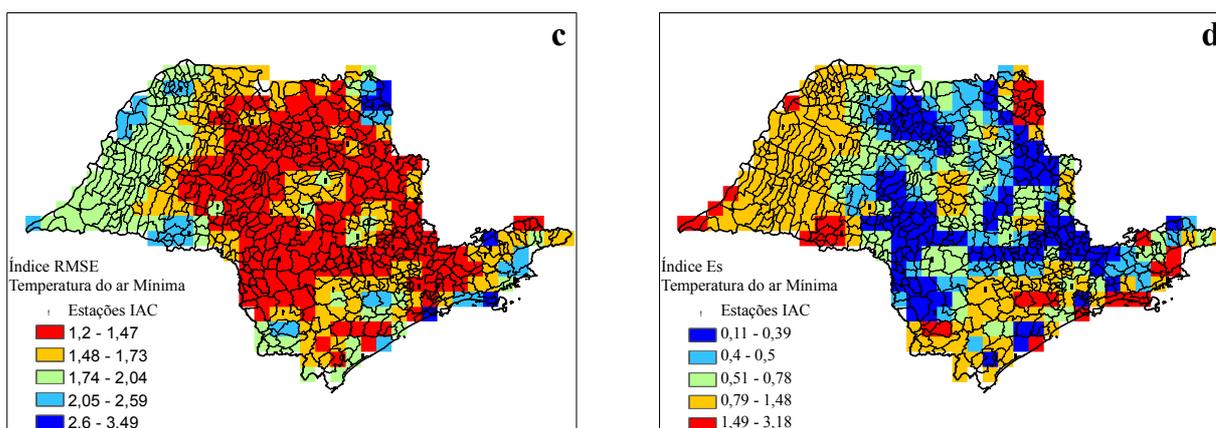


Figura 5. Índices de exatidão (d) e de precisão (R^2), RMSE e Es distribuídos espacialmente sobre o estado de São Paulo a partir de dados de temperatura do ar mínima do modelo ECMWF e mapas interpolados de estações de superfície do IAC para os anos de 2005 a 2010.

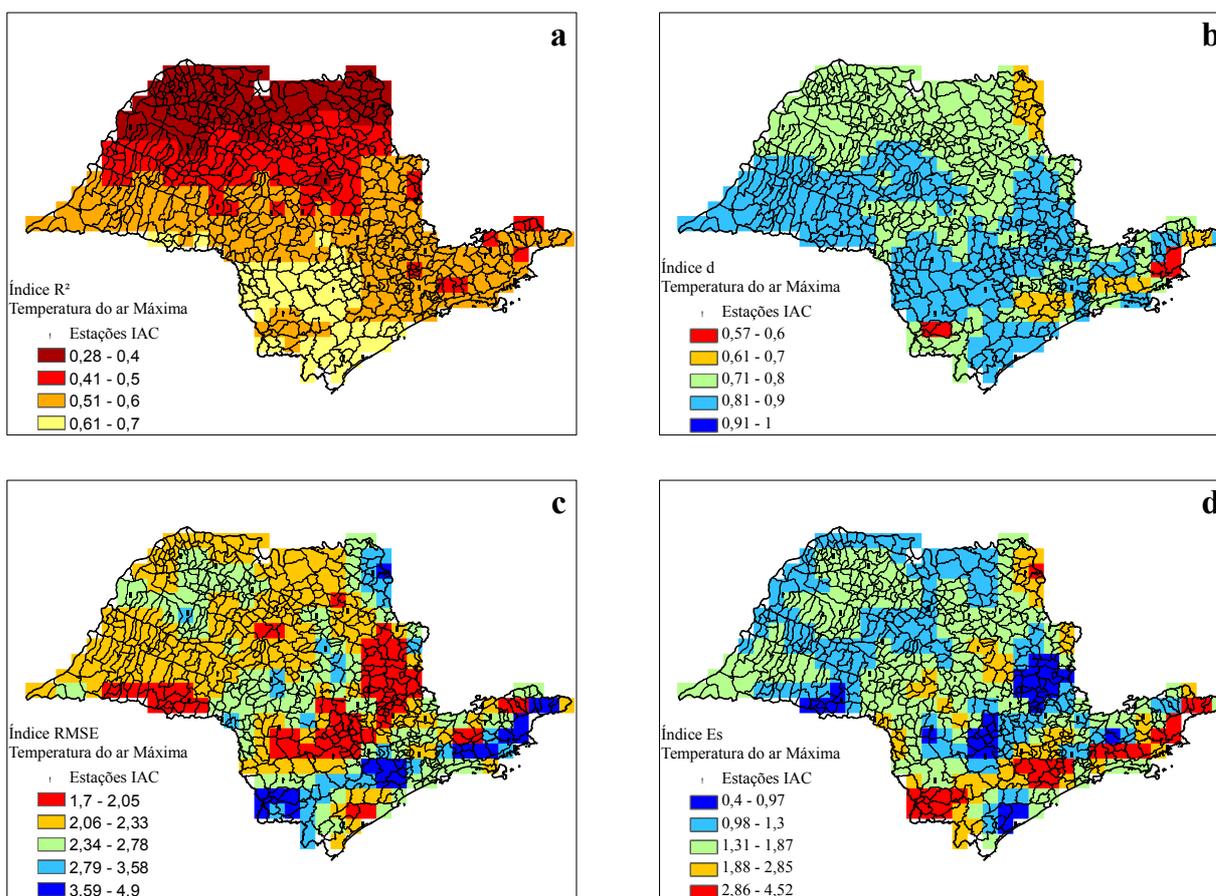


Figura 6. Índices de exatidão (d) e de precisão (R^2), RMSE e Es distribuídos espacialmente sobre o estado de São Paulo a partir de dados de temperatura do ar máxima do modelo ECMWF e mapas interpolados de estações de superfície do IAC para os anos de 2005 a 2010.

6 CONCLUSÕES

Apesar do número limitado de estações meteorológicas, sendo este considerado a fonte dos dados observados, os resultados se mostraram satisfatórios espacialmente, de acordo com os índices calculados. A representação da realidade meteorológica do modelo ECMWF nos anos considerados, para o estado de São Paulo, em relação à precipitação e temperatura do ar mínima e máxima e na resolução padrão do modelo de 0,25°, apresentou ser viável sua utilização. Assim, conclui-se com este trabalho que é possível utilizar os dados oriundos do modelo global ECMWF de precipitação e temperatura do ar máxima e mínima para o estado de São Paulo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAIN, G.C. et al. Relação entre os dados meteorológicos ECMWF preparados pelo JRC-MARS-FOOD e dados de superfície para estimativa de produtividade de soja no estado de São Paulo, Brasil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2., 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p. 61-68.
- DEPPE, F. et al. Validation studies of ECMWF precipitation data with observed SIMEPAR ground data (meteorological stations). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2., 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p. 83-92.
- DEPPE, F. et al. Comparação de estimativas de precipitação com dados observados (estações meteorológicas). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.3319-3326.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. Knowledge base. Technical Articles: FAQ “What is the Jenks optimization method?” Disponível em: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/techarticles/detail/26442>. Acesso em: 19 mar. 2012.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.103, p. 137-157, 2000.
- JOINT RESEARCH CENTRE. Dados meteorológicos simulados pelo modelo do ECMWF. 2011. Disponível em: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/About-us/FOODSEC/Data-Distribution>. Acesso em: 30 mar. 2011.
- 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: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN

SOUTH AMERICA, 2., 2006. **Proceedings...** Montevideo: South América Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p. 37-44.

MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Estimativa do rendimento de soja usando dados do modelo do ECMWF em um modelo agrometeorológico-espectral no Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 279-286. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.16/doc/279-286.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PERSON, A.; GRAZZIANI, F. **User guide to ECMWF forecast products**. Meteorological Bulletin M3.2. Reading, UK: ECMWF, mar. 2007. version 4, 153p.

SERIO, L.; SPESCHA, L.; MURPHY, G.M. Validación de las precipitaciones decádicas de la región pampeana na estimadas por el modelo atmosférico del ECMWF. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2., 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p.45-52.

SODOUDI, S. et al. Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 99, p. 39-51, 2010.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physycal Geography**, Delaware, v. 2, p. 184-194, 1981.

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**, Oldendorff, v. 30, p. 79-82, 2005.