

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR
ESTAÇÕES CONVENCIONAL E AUTOMÁTICA¹**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL DATA OBTAINED BY
CONVENTIONAL AND AUTOMATIC WEATHER STATIONS**

Paulo Cesar Sentelhas², Sérgio Oliveira Moraes³, Sonia M. De Stefano Piedade⁴, Antonio Roberto Pereira⁵, Luiz Roberto Angelocci⁵ e Fábio Ricardo Marin⁶

RESUMO

Comparou-se os dados meteorológicos relativos às variáveis temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) do ar, umidade relativa média do ar (URmed), irradiância solar global (Qg) e precipitação (Prec), obtidos por meio de uma estação meteorológica convencional (EMC) e de uma automática (EMA), em Piracicaba (latitude: 22°30'30"S, longitude: 47°38'00"W e altitude: 546 m), Estado de São Paulo, durante o período de 01/06/1996 a 30/06/1997, utilizando-se, para tanto, diversos índices estatísticos: concordância (d); erro máximo (ME); erro absoluto médio (EAM); coeficiente de determinação (CD); eficiência (EF) e coeficiente de massa crítica (CRM), além da análise de regressão. Os resultados indicaram que, apesar de algumas discrepâncias observadas devidas às diferenças na precisão dos sensores e frequência de amostragem no cálculo das médias, houve boa concordância entre os elementos observados pelas duas estações meteorológicas. As maiores diferenças, em escala diária, foram observadas na Tmed, URmed, e Qg, com EAM da ordem de 1,2°C, 3% e 2,2 MJ.m⁻².d⁻¹, respectivamente. Em escala mensal e anual, outro elemento que mostrou diferenças significativas foi a precipitação, com erro no período de 145 mm.

¹ Trabalho apresentado no X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13 a 18 de julho de 1997, Piracicaba, SP.

² MSc., Professor Assistente, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, Piracicaba, 13418-970. E-mail: pcsentel@carpa.ciagri.usp.br.

³ Dr., Professor Doutor, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP.

⁴ Dra., Professora Doutora, Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ/USP.

⁵ Dr., Professor Associado, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

⁶ Aluno de graduação do curso de Engenharia Agrônoma, estagiário do DFM/ESALQ/USP.

Palavras-chave: estação meteorológica convencional, estação meteorológica automática, comparação.

SUMMARY

Meteorological data obtained by a conventional (EMC) and by an automatic weather station (EMA) were compared from 06/01/1996 to 06/30/1997, at Piracicaba (latitude: 22°30'30"S, longitude: 47°38'00"W, and altitude: 546m), State of São Paulo, Brazil. The meteorological elements analysed were: maximum temperature (Tmax); minimum temperature (Tmin); average temperature (Tmed); average relative humidity (URmed); global solar irradiance (Qg), and rainfall (Prec). The following statistics indices were used: agreement (d); maximum error (ME); absolute average error (EAM); determination coefficient (CD); efficiency (EF); critic mass coefficient (CRM) and regression analysis. The results showed small discrepancies between the elements measured by the two weather stations. Tmed, URmed, and Qg were the elements with the highest differences in daily level, with EAM of 1.2°C, 3% and 2.2 MJ.m⁻².d⁻¹, respectively. In monthly and annual level, rainfall also showed significative discrepancy, with 145mm of difference in the period.

Key words: conventional weather station; automatic weather station; comparison.

INTRODUÇÃO

Diante da tendência mundial de automatização da aquisição de dados meteorológicos, as estações automáticas, por razões que vão desde a capacidade de amostragem até as facilidades em comunicação, organização e armazenamento dos dados, têm tido grande aceitação no monitoramento ambiental, qualquer que seja seu objetivo (TANNER, 1990).

Na agricultura, o monitoramento automático dos elementos meteorológicos tem contribuído não somente para o aumento da produtividade como, também, para a melhoria da qualidade dos produtos e para a preservação dos recursos naturais (TORRE NETO, 1995). Exemplos da aplicação das estações meteorológicas automáticas no monitoramento das atividades agrícolas são apresentados por HUBBARD *et al.* (1983), HUBBARD & KLOCKE (1986) e FERNANDES *et al.* (1995), onde predomina o controle da irrigação, além do manejo de pragas e prognóstico de geadas (CURRY *et al.*, 1981; COCKERHAM & ORTEGA, 1989).

No entanto, em climatologia agrícola uma questão importante que surge quando da substituição de uma estação meteorológica convencional (EMC), com uma longa série de dados, por

uma automática (EMA) refere-se à homogeneização da série histórica com a nova série, ou seja, como transferir a confiabilidade da EMC para a EMA, de modo que as séries obtidas pelas duas possam ser consideradas como uma série única. Esse aspecto é ainda mais importante quando se considera os valores médios, em função da diferente capacidade de amostragem (frequência das medidas) entre a EMC e EMA. Trabalhos recentes, realizados por FISCH & SANTOS (1997) e SENTELHAS *et al.* (1997), tem demonstrado, ao se comparar dados obtidos pelas diferentes estações, boa concordância entre os elementos analisados, especialmente temperatura e umidade relativa do ar, apesar dos diferentes tipos de sensores, abrigos e frequência de medidas.

Face a estas questões, o objetivo do presente trabalho foi o de comparar os dados meteorológicos obtidos por meio da EMC e da EMA, instaladas em Piracicaba, SP, visando a substituição da EMC.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no estudo foram obtidos no Posto Agrometeorológico, do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba (latitude: 22°30’30”S, longitude: 47°38’00”W e altitude: 546 m), Estado de São Paulo, durante o período de 01/06/1996 a 30/06/1997, totalizando 395 dias, onde operavam simultaneamente uma estação meteorológica convencional (EMC) e uma automática (EMA). Os elementos meteorológicos avaliados foram: temperatura máxima do ar (T_{max} , °C); temperatura mínima do ar (T_{min} , °C); temperatura média do ar (T_{med} , °C); umidade relativa média do ar (UR_{med} , %); irradiância solar global (Q_g , MJ.m⁻².d⁻¹) e precipitação pluvial (Prec, mm). Os sensores de temperatura e umidade do ar da EMC e da EMA estavam instalados em abrigos termométricos, respectivamente, de venezianas simples e de multiplaca, a 1,7 m de altura de acordo com as recomendações da WMO (WMO, 1983). Os dados obtidos pela EMA, a cada segundo, eram processados em médias a cada quinze minutos, as quais eram gravadas no módulo de aquisição, processamento e armazenamento dos mesmos, da marca Campbell. Os equipamentos utilizados nas duas estações, elemento sensor, suas sensibilidades/precisão e o método de cálculo das médias, são apresentados na Tabela 1. A velocidade do vento, por envolver diferentes alturas de amostragem (10 m na EMC e 2 m na EMA), não será aqui apresentada.

Para comparação dos dados utilizaram-se visualização gráfica, análise de regressão, coeficiente de determinação (R^2), e os seguintes índices estatísticos:

a) índice de concordância:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (1)$$

b) erro máximo:

$$ME = \max \left(|O_i - P_i| \right)_{i=1}^n \quad (2)$$

c) erro absoluto médio:

$$EAM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \right] \quad (3)$$

d) raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5} \times \left(\frac{100}{\bar{O}} \right) \quad (4)$$

e) coeficiente de determinação:

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

f) eficiência:

$$EF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (6)$$

g) coeficiente de massa residual:

$$CRM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right] \quad (7)$$

sendo O_i os dados obtidos para a EMA e P_i os da EMC, n o número de observações e $\bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i$

(ZACHARIAS et al., 1996). As componentes sistemática (E_s) e aleatória (E_a) do erro total foram obtidas por:

$$E_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - O_i)^2 \quad \text{e} \quad E_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2, \quad \text{em que } \hat{P}_i = a + bO_i \quad (\text{WILLMOTT et al., 1985}).$$

Se O_i coincide perfeitamente com P_i , tem-se: $ME = RMSE = CRM = 0$ e $d = CD = EF = 1$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As regressões lineares simples entre os dados coletados pela EMC e EMA apresentaram resultados significativos ao nível de 1% de probabilidade para o teste F, em todos os elementos estudados. As equações de regressão e os respectivos valores de R^2 (Figura 1), mostram a existência de alta correlação entre os dados obtidos pela EMC e pela EMA. O teste t para os parâmetros das equações lineares apresentou significância estatística para a Qg e URmed, ao nível de 1% de probabilidade, para o intercepto a , mostrando que este difere estatisticamente de zero. Para o coeficiente angular, todos os resultados do teste t foram altamente significativos, indicando que o mesmo difere de zero.

Analisando-se os índices estatísticos da Tabela 2, observa-se que para temperatura, Tmax e Tmin (Figura 1a e 1b) apresentaram, dada a pequena amplitude de variação dos dados, os índices de concordância (d) mais próximos de 1, o mesmo ocorrendo com EF. No caso da Tmin, apesar da concordância elevada, observa-se na Figura 1b, valores acentuadamente discrepantes, com ME chegando a 6°C. Isso se deve ao horário de ocorrência da Tmin. Caso ela ocorra um pouco antes da meia-noite, na EMA ela será registrada como do dia n , porém, na EMC ela somente será lida no dia $n+1$, sendo isso uma importante fonte de erro. Apesar da boa relação entre EMA e EMC, com relação à Tmax e Tmin, essa não é transferida para a Tmed (Figura 1c), a qual apresenta o segundo pior ajuste, conforme os parâmetros analisados, devido, basicamente, às amostragens para o cálculo da média, sendo a EAM da ordem de 1,2°C (Tabela 2).

A URmed (Figura 1d) é outra variável que embora tenha apresentado resultados intermediários para d , EF e RMSE, mostrou o maior valor de E_s em relação ao E_a , o que se deve, possivelmente, às diferenças de sensibilidade do sensor e de amostragem para determinação do valor médio (Tabela 1).

A Qg (Figura 1e) foi o elemento analisado que teve as maiores diferenças entre EMC e EMA, apresentando a pior concordância (d), Ea e Es elevados, o maior RMSE, a EF mais baixa e o CRM mais elevado. Essa acentuada discrepância entre EMC e EMA na medida de Qg, é devida às diferenças de resposta, precisão e sensibilidade dos sensores, à calibração do actinógrafo, e aos problemas relativos à cotação dos diagramas desse equipamento, principalmente em períodos com nebulosidade variável. Essa tendência de subestimativa da Qg medida pelo actinógrafo é confirmada pelas medidas comparativas entre um piranômetro Li-cor e um Eppley (Modelo PSP), durante 90 dias (Figura 2), que mostra a elevada relação entre o sensor da EMA e o padrão ($a = 0$, $b = 0,9323$ e $R^2 = 0,9939$), indicando que, em média, o sensor Li-Cor subestima em 7% o valor do Eppley.

Com relação à precipitação, verifica-se (Figura 1f e Tabela 2) que existiu boa concordância entre as medidas realizadas na EMC e na EMA, com d igual a 0,9933, o mais elevado para os elementos analisados, EF de 0,97 e EAM da ordem de 0,5 mm, sendo que grande parte desse erro provém das medidas de precipitação superiores a 20 mm por dia, o que segundo TANNER (1990) é comum nos pluviômetros de balsa.

Analisando-se os valores médios mensais, verifica-se a mesma tendência observada para os dados diários. Para a temperatura (Figura 3), a tendência é dos dados obtidos pela EMC serem maiores que os obtidos na EMA. Essa variação também foi observada por FISCH & SANTOS (1997). Já para a umidade relativa (Figura 4), não existiu constância nas diferenças entre a EMA e a EMC, o que difere parcialmente dos resultados de FISCH & SANTOS (1997), que encontraram uma predominância de diferenças positivas entre a EMA e EMC.

Com relação à irradiância solar global (Figura 5), principalmente nos meses de maior irradiância, ocorreram valores maiores de Qg observados na EMA em relação à EMC, da ordem de $+3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Já nos meses de inverno essa diferença caiu para $+1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

Para a precipitação (Figura 6), os valores são bastante próximos, havendo, no entanto, uma tendência, em escala mensal, de valores maiores na EMC em relação à EMA, principalmente para chuvas acima de 100 mm. No período de 13 meses, os valores acumulados pelos dois equipamentos, pluviógrafo na EMC e pluviômetro de balsa na EMA, foram 1537,2 e 1392,1 mm, respectivamente, com uma diferença de 145,1 mm, o que é bastante significativo, principalmente, em climatologia. Os dados obtidos pelo pluviógrafo foram confirmados por um pluviômetro comum, também instalado na área do posto, que diferiu apenas 8,6 mm, no mesmo período, indicando que a fonte do erro está no equipamento da EMA. Essa tendência de medidas inferiores na EMA, no caso da precipitação, está relacionada à incapacidade do sensor, em eventos de precipitação intensa, de registrá-la na mesma velocidade com que ela ocorre, assim uma parte da precipitação coletada não é

computada. Esses erros, também relatados por TANNER (1990) e TORRE NETO (1995), aumentam com a intensidade da precipitação, como observa-se nas Figuras 1f e 6. Uma das soluções propostas por TANNER (1990), para diminuição deste tipo de erro, é o aumento do volume da báscula, o que, no entanto, implica em menor resoluo da medida.

Tabela 1. Variáveis analisadas pelas estaes meteorológicas convencional (EMC) e automatizada (EMA), com respectivos sensores, fabricantes, sensibilidades/precisões e métodos de cálculo das mdias dos dados obtidos.

| Estaao | Variável | Elemento Sensor | Fabricante/Marca | Sensibilidade Precisão | Método de cálculo da média |
|----------|----------|--------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| EMC | Tmax | Mercrio | R.FUESS | 0,2°C | -- |
| | Tmin | lcool | R.FUESS | 0,2°C | -- |
| | Tmed | -- | -- | -- | Tmed=(Tmax+Tmin)/2 |
| | URmed | Harpa de Cabelo | R.FUESS | 5% | URmed=∑ URi / 24 |
| | Qg | Placas Bimetálicas | R.FUESS | 69,77 W.m ² | -- |
| | Prec | -- | R.FUESS | 0,1mm | -- |
| EMA | Tmax | Termistor | Vaisala | 0,1°C | -- |
| | Tmin | Termistor | Vaisala | 0,1°C | -- |
| | Tmed | -- | -- | -- | Tmed=∑ Tj/96 |
| | URmed | Capacitivo | Vaisala | 3% | URmed=∑ URj/96 |
| | Qg | Célula de Silício | Li-Cor (LI-200x) | 0,01W.m ² | -- |
| | Prec | Bscula | Texas Elect. (TE525MM) | 0,1mm | -- |

i refere-se às horas cheias (i = 1, 2, 3, 4, ..., 24); e j refere-se  média obtida pela EMA a cada 15 minutos (j = 0:15, 0:30, 0:45, 1:00, 1:15, ..., 23:45, 24:00).

Tabela 2. Índices estatísticos para análise da concordância entre as variáveis Tmax, Tmin, Tmed, URmed, Qg, e Prec, obtidas em EMC e EMA, em Piracicaba, SP.

| Variável | R ² | d | EAM | Es | Ea | ME | RMSE | CD | EF | CRM |
|--|----------------|--------|------|------|------|--------|-------|------|------|-------|
| Tmax (°C) | 0,9871 | 0,9877 | 0,73 | 0,43 | 0,71 | 3,549 | 4,05 | 0,97 | 0,95 | -0,02 |
| Tmin (°C) | 0,9691 | 0,9908 | 0,41 | 0,75 | 0,30 | 6,017 | 3,95 | 0,95 | 0,96 | -0,02 |
| Tmed (°C) | 0,9527 | 0,9579 | 1,20 | 0,75 | 1,18 | 4,329 | 6,87 | 0,81 | 0,81 | -0,06 |
| URmed (%) | 0,8697 | 0,9605 | 2,91 | 3,78 | 0,49 | 12,074 | 18,65 | 0,96 | 0,86 | 0,01 |
| Qg (MJ.m ² .d ⁻¹) | 0,9380 | 0,9344 | 2,19 | 2,44 | 1,16 | 9,575 | 13,19 | 1,23 | 0,77 | 0,13 |
| Prec (mm) | 0,9880 | 0,9933 | 0,47 | 0,99 | 0,98 | 9,400 | 6,82 | 0,79 | 0,97 | -0,10 |

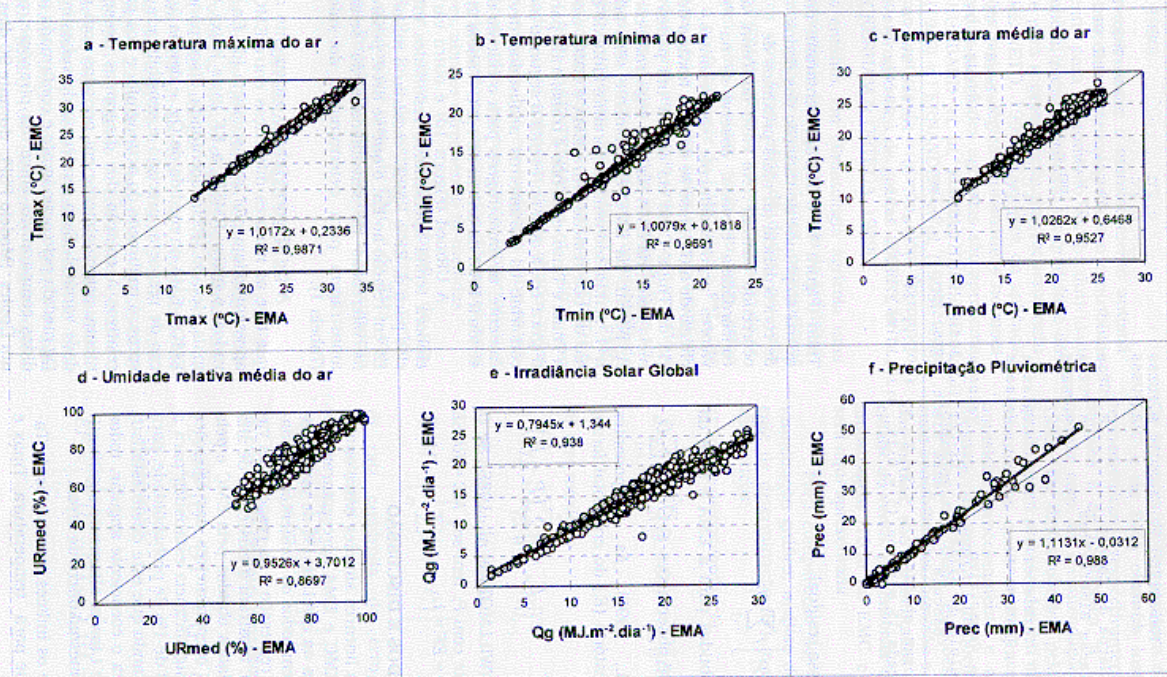


Figura 1. Relação entre variáveis meteorológicas observadas na EMC e na EMA, valores diários, no período de 01/06/96 a 30/06/97, em Piracicaba, SP.

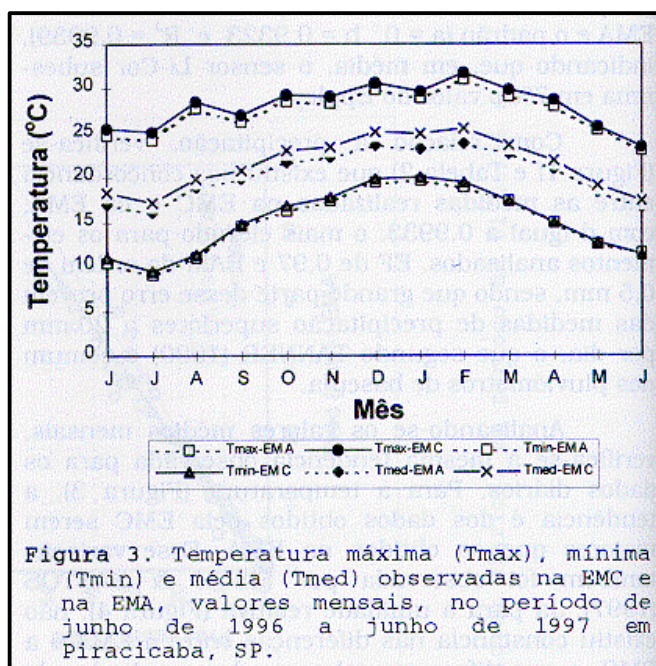
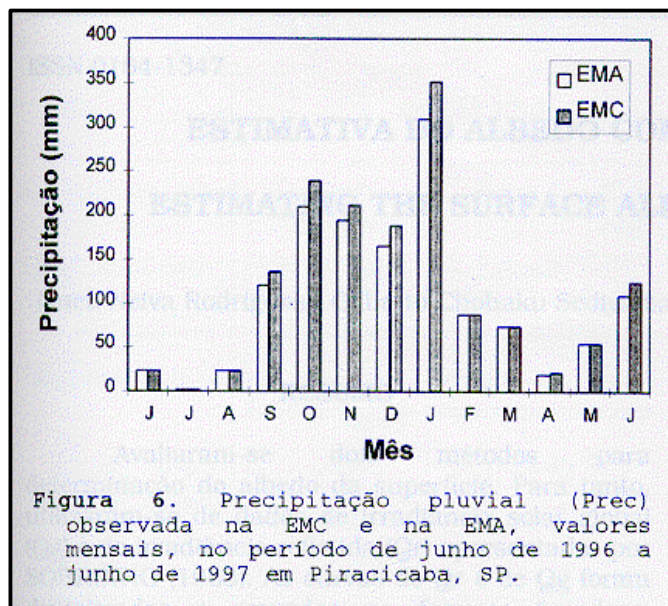
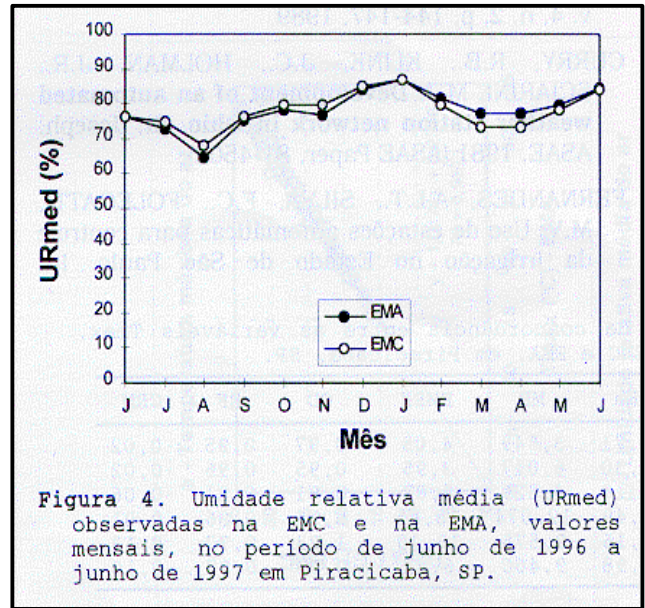
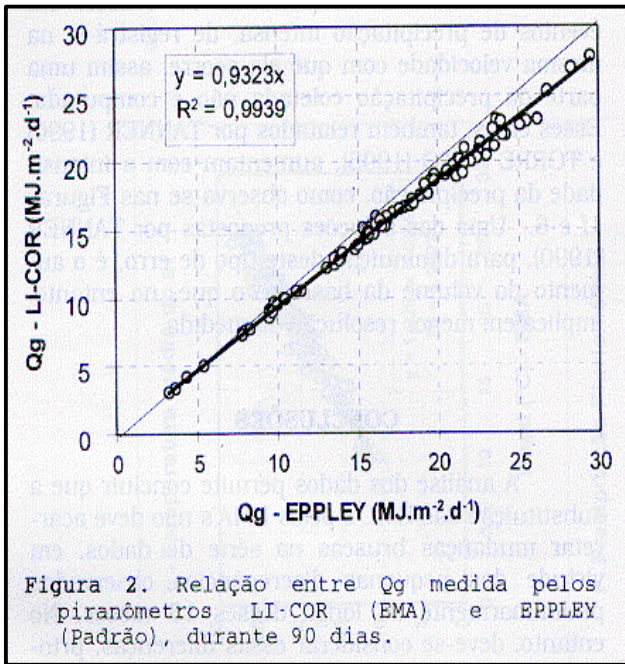


Figura 3. Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) observadas na EMC e na EMA, valores mensais, no período de junho de 1996 a junho de 1997 em Piracicaba, SP.



CONCLUSÕES

A análise dos dados permite concluir que a substituição das EMC's pelas EMA's não deve acarretar mudanças bruscas na série de dados, em virtude das pequenas discrepâncias observadas preliminarmente ao longo desses 13 meses. No entanto, deve-se considerar essas diferenças, principalmente, nos casos da temperatura média e da irradiância solar global, em escala diária, e da precipitação, em escala mensal e anual, nos estudos do clima, para que isso não seja atribuído a uma alteração regional em futuras análises.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Técnico Edivaldo Modesto de Abreu, do DFM/ESALQ/USP, pela colaboração prestada na execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COCKERHAM, S.T., ORTEGA, T.R. Remote data acquisition for agricultural experiment station management. **Applied Agricultural Research**, v. 4, n. 2, p. 144-147. 1989.
- CURRY, R.B., KLINK, J.C., HOLMAN, J.R., SCIARINI, M.J. **Development of an automated weather station network in Ohio**. St. Joseph: ASAE, 1981 (ASAE Paper, 81-4502).
- FERNANDES, A.L.T., SILVA, F.C., FOLEGATTI, M.V. Uso de estações automáticas para controle da irrigação no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 1-3.
- FISCH, G., SANTOS, J.M. Comparação entre observações meteorológicas convencionais e automáticas na região do Vale do Paraíba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 246-248.

- HUBBARD, K.G., ROSENBERG, N.J., NIELSEN, D.C. Automated weather data network for agriculture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 109, n. 3, p. 213-222. 1983.
- HUBBARD, K.G., KLOCKE, N.L. Climate and Irrigation in Nebraska. In: CONFERENCE ON CLIMATE AND WATER MANAGEMENT: A CRITICAL ERA AND CONFERENCE ON THE HUMAN CONSEQUENCE OF 1985'S CLIMATE. Asheville, N.C., 1986. Boston: American Meteorological Society. p. 33-35. 1986.
- SENTELHAS, P.C., MORAES, S.O., PIEDADE, S.M.S. et al. Análise comparativa preliminar de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 243-245.
- TANNER, B.D. Automated weather stations. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 73-98. 1990.
- TORRE NETO, A. **Estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto de variáveis edafo-ambientais**. São Carlos, SP. 1995, 146 p. Tese de Doutorado, Instituto de Física e Química de São Carlos, USP. 1995.
- WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, R.E. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005. 1985.
- WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva, World Meteorological Organization, , 1983. 230 p., (n. 8, 5th edition).
- ZACHARIAS, S., HEATWOLE, C.D., COAKLEY, C.W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 47-54. 1996.