Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

COMPARAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS CONVENCIONAL E AUTOMÁTICA.

ALMEIDA, Hermes Alves de – hermes_almeida@uol.com.br
HERMENEGIDIO, Gyslâynne Mary dos Santos – laynnemary@hotmail.com

Dep Geografia- Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande.

RESUMO. Este trabalho teve por objetivo principal comparar dados de temperaturas do ar, máxima e mínima, umidade relativa e precipitação pluvial, nos horários das 12, 18 e 24 horas UTC (unidades de tempo coordenado) e as suas respectivas médias diárias, obtidas nas estações meteorológicas convencional (EMC) com as da automática (EMA), instaladas no Campus II, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB (latitude 06°57'S, longitude 35°41'W e altitude 623 m). As duas séries de dados foram analisadas simultaneamente, durante o período de 01.01.2006 a 31.12.2008. As análises estatísticas comparativas foram determinadas, utilizando-se a estatística das medidas de tendência central e dispersão e de análises de regressão linear, sendo avaliadas pelos índices estatísticos de precisão (R^2), concordância (d), confiança (c) e exatidão: erros máximo, absoluto médio e sistemático, coeficiente de massa residual e eficiência do modelo. Os principais resultados indicaram pequenas desigualdades entre si e tendências da temperatura do ar ser 0,3 ^oC menor na EMA, as 18 e 24 UTC, e maior às 12 UTC. Já, os valores médios da UR foram 2,5 % menores na EMA, quando comparados com os da EMC. Na escala diária, a média das temperaturas máxima e mínima foram, respectivamente, 0,2 e 0,4 ^oC maiores na EMC e de 1,5 % para UR. Os elevados índices estatísticos de precisão e exatidão, para todos os dados comparados, indicaram homogeneidade nas duas séries o que garantem, portanto, êxito na substituição da EMC pela EMA e, consequentemente, a continuidade da série histórica existente.
Palavras-chave: Estação meteorológica, automação de dados, sensores, elementos meteorológicos.

COMPARATIVE OF METEOROLOGICAL DATA GENERATED IN CONVENTIONAL AND AUTOMATIC WEATHER STATIONS

ABSTRACT. This study aimed to compare data of air temperature of the air, maxim and minimum, relative humidity and rainfall, in the schedules of the 12, 18 and 24 hours UTC (units of coordinated time) and your respective daily averages, obtained in the conventional meteorological stations (EMC) with the one of the automatic (EMA), installed at the Campus II, of the Federal University of Paraiba, Areia city, PB (latitude 06°57'S, longitude 35°41'W and altitude: 623 m) in the period from 01.01.2006 to 31.12.08. The comparative statistical analyses were certain, being used the statistics of the measures of central tendency and dispersion and of lineal regression, by the statistical indexes using the statistical indexes determination coefficient (R^2), agreement (d), maximum error (EM), absolute mean error (EAM), efficiency (EF), and systematic error (Es). The main results showed small gap between itself and trends for the value of air temperature to be 0.3 smaller ^oC in EMA, to the 18 and 24 UTC, and larger to 12 UTC. Already, the medium values of UR were 2.5% smaller in EMA, when compared with the one of EMC. In the medium daily scale, the temperatures maxim and low they were, respectively, 0.2 and 0.4 larger ^oC in EMC and of 1.5% for UR. The high statistical indexes, for all the compared data, they indicated homogeneity in the two series that guarantee, therefore, success in the substitution of EMC for EMA and, consequently, the continuity of the existent historical series
Key words: Meteorological station, automation of data, sensor, meteorological elements.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

1. INTRODUÇÃO

A automação de dados meteorológicos constitui um grande avanço tecnológico, por permitir coletar e monitorar dados até, em locais antes inóspitos a observação, e em tempo real. Com esse advento tecnológico surge a questão: como substituir uma tecnologia antiga (convencional) por uma nova (eletrônica), ou seja, uma estação meteorológica convencional (EMC) por uma automática (EMA), sem causar interrupção na série histórica existente (ALMEIDA, SOUZA & ALCÂNTARA, 2008).

Mesmo existindo essas indagações, há estudos comparativos entre dados meteorológicos coletados na EMC e EMA que mostram precisão, exatidão e concordância entre si, especialmente, para temperatura do ar, umidade relativa e precipitação pluvial (CUNHA & MARTINS, 2004; ALMEIDA, SOUZA & ALCÂNTARA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Outros aspectos importantes a considerar são a média diária e/ou o acumulado diariamente. A temperatura média do ar, por exemplo, no sistema convencional é calculada usando o método padrão da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 1983), ou seja, uma média ponderada de quatro observações. Se a média na EMA for calculada pela média aritmética simples (para um número de observação desejado), é um equivoco fazer a comparação entre si por que o procedimento metodológico usado no cálculo da média é diferente.

Destaca-se, ainda, que a substituição de uma estação meteorológica convencional por uma automática, requer muita cautela a fim de atender alguns princípios básicos, que é o do funcionamento simultâneo das duas estações, por certo período, e o da análise que comprove a homogeneidade das duas séries. Esse procedimento permite transferir a confiabilidade da EMC (antiga) para a EMA (nova), para que essas séries possam ser consideradas com sendo uma única. Diante disto, a substituição de uma EMC por uma EMA não é apenas um ato simples de troca (ALMEIDA, SOUZA & ALCÂNTARA, 2008).

Apesar das vantagens que a automação de dados meteorológicos oferece, há necessidade de estudos e/ou de procedimentos para evitar que a substituição da EMC pela EMA não interrompa a série histórica existente. Análises comparativas de dados entre si têm mostrado elevadas concordâncias entre dados gerados simultaneamente nos dois sistemas, especialmente, as encontradas por Almeida, Souza & Alcântara (2008), na Paraíba; Sentelhas *et al*. (1997), Cunha & Martins (2004) e Oliveira *et al.* (2010), em São Paulo; Souza, Galvani & Assunção (2003) e Pereira *et al.* (2008), no Paraná; e de Strassburger et al. (2011), no Rio Grande do Sul. No entanto, as recomendações de todos convergem que a substituição da EMC pela EMA só ocorra após essas análises.

Diante deste contexto, houve a necessidade de fazer análises comparativas dos dados de temperaturas do ar, máxima e mínima, umidade relativa e precipitação pluvial, nos horários das 12, 18 e 24 horas UTC (unidades de tempo coordenado) e as suas respectivas médias diárias, obtidos nas estações meteorológicos convencional (EMC) com os da automática (EMA), instaladas no Campus II, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, sendo essas determinações os objetivos principais deste trabalho.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Dados horários de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação pluvial foram coletados, simultaneamente, nas Estações Meteorológicas Convencional (EMC) e Automática (EMA), pertencentes ao INMET e instaladas no Campus II, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, microrregião do Brejo paraibano, latitude 06°57'S, longitude 35°41'W e altitude de +623 m.
De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima é tropical chuvoso (Asa), com período chuvoso do outono-inverno, seco da primavera-verão e com temperatura média do mês mais quente maior que 22 ^{o}C (ALMEIDA, SOUZA & ALCÂNTARA, 2008).
As observações meteorológicas na EMC foram feitas nos horários sinóticos de observação às 12, 18 e 24 UTC (Unidades de Tempo Coordenado), enquanto que, na EMA, leituras eram registradas a cada cinco minutos, processadas e armazenadas (data logger) um valor médio por hora. O período analisado foi de 01.01.2006 a 31.12.08. Os dados inconsistentes por falhas na coleta e/ou no sensor de ambas as estações foram eliminados.
Os termômetros e o psicrômetro da EMC e o termistor da EMA, foram abrigados em abrigos meteorológicos de venezianas simples e de multiplacas, a 1,7 m de altura da superfície do solo. A precipitação pluvial foi medida nos pluviômetros Ville de Paris, na EMC, e no de báscula, na EMA.
A Tabela 1 consta às especificações técnicas dos instrumentos meteorológicos da EMC e EMA, com os seus respectivos elementos sensíveis, modelos e precisões.

Estação	Elementos	Elem. sensível	Modelo/ marca	Precisão
EMC	Temperatura do ar	Mercúrio	FUESS	0,2°C
	Temp. máxima	Mercúrio	FUESS	02 °C
	Temp. mínima	Álcool	FUESS	0,2°C
	Umidade relativa	psicrômetro	____	5%
	Precipitação	------	Ville de Paris	0,2 mm
EMA	Temperatura do ar	Termistor	Vaisala	0,1° C
	Umidade relativa	Capacitivo	Vaisala	3%
	Precipitação	Báscula	Texas Elect.	0,2 mm

Tabela 1 – Especificações técnicas dos sensores das estações convencional (EMC) e automática (EMA), instaladas no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.

As médias diárias da temperatura média do ar (tmed) e umidade relativa (URmed) e/ou dos totais de precipitação pluvial (Pp), nas EMC e EMA, foram determinadas pelos métodos padrão, recomendados pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM; WMO, 1983), conforme as expressões 1, 2 e 3:

$$tmed(^{o}C) = \frac{tmáxima + tmínima + tar(12:00\,UTC) + 2 \times tar(24:00\,UTC)}{5} \quad (1)$$

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

$$URmed(\%) = \frac{UR(12:00UTC) + UR(18:00UTC) + 2 \times UR(24:00UTC)}{4} \quad (2)$$

$$Pp(mm) = (Pp15:00UTC + Pp24:00UTC)_{n-1} + (Pp12:00UTC)_n \quad (3)$$

Sendo: tmáxima a temperatura máxima do dia (°C);
tmínima a temperatura mínima do dia (°C);
tar temperatura do ar (°C) observada nos horários UTC;
UR umidade relativa do ar (%) determinada nos horários UTC;
Pp precipitação pluvial (mm), do dia (n) e do dia anterior (n-1).

Os desvios relativos (Dr), para cada elemento e unidade de medida, foram calculados pela diferença entre o valor obtido na EMC menos o da EMA, pela expressão:

Dr = EMC – EMA (4)

De posse dos dados tabulados foi feita uma consistência e em seguida análises comparativas mediante a visualização gráfica (nos horários das 12, 18 e 24 UTC e nas médias diárias e mensais) e na diferença entre si (Dr). As frequências relativas foram calculadas pelo número de repetições que o valor de cada um do elemento estudado, na EMC, foi simultaneamente maior ou menor que na EMA.

O modelo de regressão linear simples, do tipo: Y= a+bX foi usado para ajustar os dados. Para avaliar a concordância entre os valores observados e/ou calculados, nos dois sistemas, utilizaram-se os indicativos estatísticos de precisão- coeficientes linear (a), angular (b), de determinação (R^2) e de correlação (R)- e de exatidão (d), proposto por Willmott et al, (1985). Os demais índices estatísticos foram determinados pelas expressões (5, 6, 7, 8, 9 e 10) e de interpretação de desempenho ou confiança do modelo (c), estabelecido por Camargo e Sentelhas (1997), mediante a expressão 11:

Índice de concordância (d)

$$d = 1 - \left[\sum_{i=1}^{n} (EMC_i - EMA_i)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n} \left(\left| EMC_i - \overline{EMA} \right| + \left| EMA_i - \overline{EMA} \right| \right)^2 \right] \quad (5)$$

Erro máximo (EM)

$$EM = máximo \left| EMC_i - EMA_i \right)|_{i=1}^{n} \quad (6)$$

Erro absoluto médio (EAM)

$$EAM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(\left| EMC_i - EMA_i \right| \right) \right] \quad (7)$$

Coeficiente de massa residual (CRM)

$$CRM = \left[\sum_{i=1}^{n} EMA_i - \sum_{i=1}^{n} EMC_i \right] \Big/ \sum_{i=1}^{n} EMA_i \quad (8)$$

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Eficiência do modelo (EF)

$$EF = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(EMA_i - \overline{EMA} \right)^2 - \sum_{i=1}^{n} \left(EMA_i - EMC_i \right)^2 / \sum_{i=1}^{n} \left(EMA_i - \overline{EMA} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Erro Sistemático (ES)

$$ES = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(\hat{P} - EMA_i \right)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

Índice de confiança ou desempenho (c)

$$c = R \times d \quad (11)$$

sendo EMC e EMA os dados oriundos das estações meteorológicas Convencional e Automática, respectivamente. A barra no sobrescrito representa a média aritmética, n o número de observações, i o dia ou o mês e $\hat{P}$ o valor estimado pela equação de regressão ($\hat{P} = a + b \times EMA$). As análises estatísticas, os cálculos, a confecção de gráficos e tabelas foram feitas utilizando-se a planilha eletrônica Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos valores horários (instantâneos) da temperatura do ar e umidade relativa (UR), nos horários das 12, 18 e 24 UTC, obtidas nas estações meteorológica automática (EMA) e convencional (EMC) são mostradas, respectivamente, nas Figuras 1 e 2.

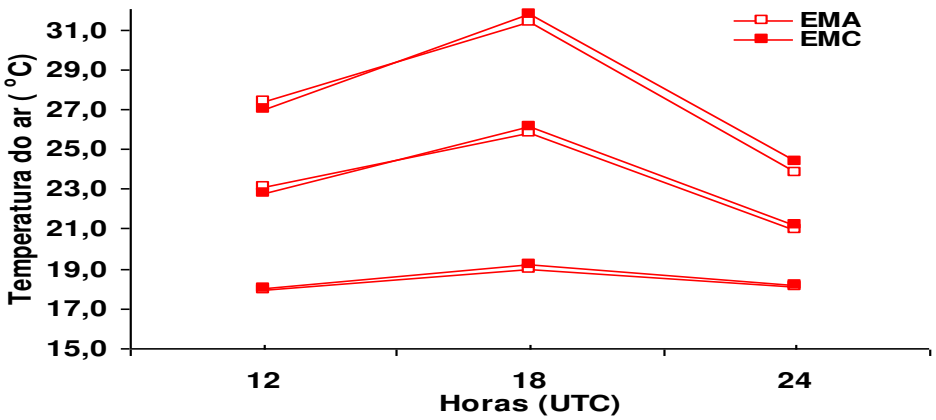


Figura 1. Médias horárias dos valores instantâneos da temperatura do ar, obtidas nas estações meteorológicas automática (EMA) e convencional (EMC).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Observa-se (Figura 1) que maior diferença foi de 0,6 °C, na média da temperatura do ar das 24 UTC, enquanto os valores máximo e/ou o mínimo, nos três horários de observações não ultrapassaram, respectivamente, ± 0,3 °C e ± 0,2 °C.

Com relação à umidade relativa (Figura 2), constatou-se que, em média, não houve diferença no valor máximo da UR nos dois sistemas (EMC e EMA), nos três horários comparados. No entanto, o mesmo não ocorre para os valores intermediários, cuja diferença entre si foi de 5 % às 18 horas UTC.

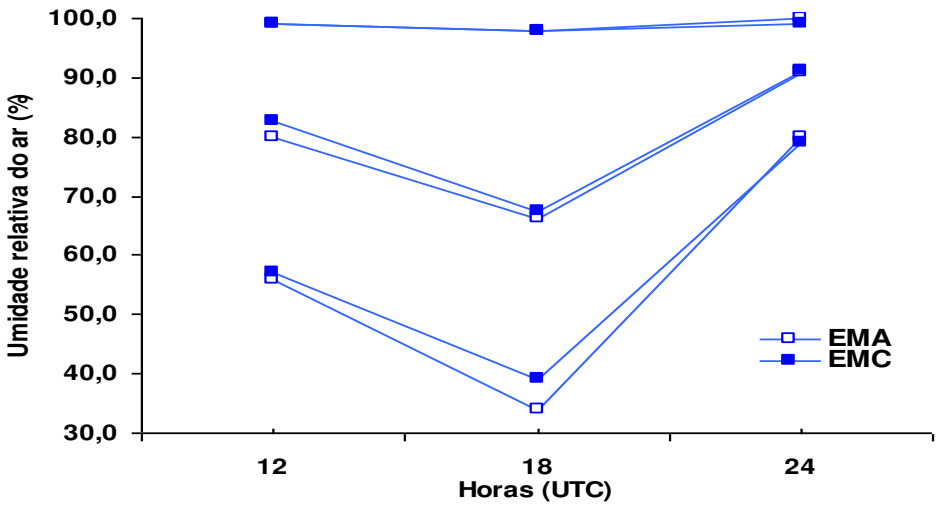


Figura 2. Médias horárias dos valores instantâneos de umidade relativa do ar, obtidas nas estações meteorológicas automática (EMA).

A Tabela 2 consta de um sumário das análises das médias da temperatura do ar (tar) e umidade relativa (UR), medidas na EMA e EMC nos três horários, incorporando aos valores da média, os respectivos intervalos de confiança (99,5 % de probabilidade) e os desvios padrão da média.

	Temperatura do ar (°C)/ UTC			Um. relativa do ar (%)/ UTC		
Sensores	12	18	24	12	18	24
EMA	23,1± 0,2 (1,8)	25,8 ± 0,3 (2,6)	20,9 ± 0,1 (1,2)	80,1 ± 0,9 (9,7)	66,1± 1,4 (14,7)	90,7 ± 0,4 (3,6)
EMC	22,8 ± 0,2 (1,8)	26,1 ±0,3 (2,6)	21,2 ± 0,1 (1,2)	82,6 ± 0,9 (9,6)	67,5± 1,4 (14,6)	91,2 ± 0,4 (4,3)

Tabela 2 – Médias das temperaturas do ar e umidade relativa, nos três horários, com os seus respectivos intervalos de confiança (±) e desvios padrão (), dos sensores da EMA e EMC. Areia, PB. Medias do período: 01.01.06 a 31.12.08.

Comparando-se os valores térmicos médios instantâneos (Tabela 1), verifica-se que, a temperatura do ar na EMC difere da EMA, sendo, em média, de ±0,3 °C maior na EMA. Essas diferenças não devem ser creditas unicamente a acurácia do sensor da EMA, em detrimento ao termômetro da EMC, uma vez que frações dessas poderão advir, por exemplo, da não coincidência do horário da

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

observação feita na EMC com o registro na EMA. Observa-se, também, que as maiores dispersões, contabilizadas pelos desvios padrão da média, ocorreram às 18 h UTC, oscilações essas que podem estar relacionadas à maior amplitude térmica nesse horário de observação.

Com relação à umidade relativa (Tabela 2), observa-se que a diferença entre o valor medido no psicrômetro e no termistor capacitivo não ultrapassou 2,5 %, sendo ligeiramente maior na EMC. Esse comportamento se deve a relação inversa entre a UR e temperatura do ar. Ressalta-se, entretanto, que a não coincidência da UR $\propto$ 1/tar, nos três horários, pode ter sido "encoberta" pela média, pela diferença no horário de observação entre si (EMC e EMA) ou mais provavelmente devido à ausência do sensor de bulbo úmido na EMA. Sem a temperatura do bulbo úmido, a UR é estimada por um algoritmo usando apenas o valor da temperatura do ar. Esse procedimento pode ser uma fonte de divergência, razão essa que explica não somente o surgimento de valores de UR maior que 100 %, mas da não inversão da relação da tar versus UR, quando se compara os dois sistemas, o que concorda com os resultados encontrados por Almeida, Souza & Alcântara (2008).

Os valores médios diários das temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa e precipitação pluvial (Pp), com respectivos intervalos de confiança (99,5% de probabilidade) e desvios padrão, das estações EMA e EMC, são apresentados na Tabela 3.

Sensores	Temp. máx (°C)	Temp. média (°C)	Temp. min (°C)	UR (%)	Pp (mm)
EMA	27,4± 0,25 (2,6)	22,4± 0,14 (1,5)	19,8± 0,19 (1,2)	81,8± 0,66 (6,7)	3,6± 0,71 (9,7)
EMC	27,2± 0,24 (2,5)	22,4± 0,14 (1,3)	19,4± 0,20 (1,4)	83,3± 0,68 (7,0)	3,8± 0,77 (10,5)

Tabela 3 – Médias diárias das temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa e precipitação, com os seus respectivos intervalos de confiança (±) e desvios padrão (), dos sensores da EMA e EMC. Areia, PB.

Observa-se (Tabela 3) que há uma tendência para os valores das temperaturas máxima e mínima serem maiores (de 0,2 a 0,4 °C) no termistor da EMA do que nos respectivos termômetros da EMC. Essas diferenças foram bem menores que as encontradas por Almeida, Souza & Alcântara (2008) e Cunha & Martins (2004). No entanto, elas podem estar associadas aos elementos sensíveis do termistor (da EMA) e dos termômetros (mercúrio e álcool), da EMC.

Com relação à temperatura média diária, não houve diferença. Destaca-se, entretanto, que a média comparada foi determinada usando o mesmo critério, ou seja, a média compensada para ambos os sistemas. Diferentemente dos procedimentos adotados por Sentelhas et al. (1997), Cunha & Martins (2004), Oliveira et al. (2010), dentre outros, que comparam média compensada, na EMC, com média aritmética, na EMA. Percebe-se que essa discordância foi um equivoco deles, ao comparar média aritmética simples com média compensada, que embora sejam médias, elas foram determinadas por procedimentos metodológicos diferenciados, portanto, não permite tal comparação.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Os desvios padrões das temperaturas máxima e mínima na EMC e/ou somente da máxima na EMA são maiores que os da temperatura média, concordam com os resultados encontrados por Almeida, Souza & Alcântara (2008). Essa dispersão pode estar associada ao tempo de resposta e/ou à acurácia dos elementos sensíveis dos termômetros de máxima e mínima (mercúrio e álcool), quando comparadas com a do termistor da EMA.

Verifica-se, também, na Tabela 3, que a diferença no valor médio diário da UR, nos dois sistemas, foi insignificante (1,5 %) no valor médio diário da UR, sendo maior na EMC do que na EMA. Embora tenha sido ainda menor que a encontrada por Almeida, Souza & Alcântara (2008), mas contrária ao resultado deles e a de Oliveira et al. (2010) que encontraram UR maior na EMA.
Destaca-se, entretanto, que as diferenças nos valores médios diários da UR encontradas na maioria dos artigos científicos se devam ao comparar média ponderada na EMC com média aritmética simples na EMA. Idem ao que acontece com a temperatura média, a média ponderada difere da simples. Portanto, a principal diferença é no procedimento metodológico para o cálculo da média, sendo assim, a principal discordância nos valores encontrados por Sentelhas et al. (1997), Cunha & Martins (2004), Pereira et al. (2008), Oliveira et al. (2010), dentre outros.
Comparando-se as dispersões médias diárias, nos dois sistemas, verifica-se que são muito próximas, exceto as da precipitação pluvial, cujos desvios são cerca de três vezes maiores que a média aritmética. Mesmo assim, esses resultados são aceitáveis e coerentes para as condições do semiárido citadas por Almeida, Souza & Alcântara (2008) e Almeida (2012) que *afirmaram: "a chuva é o elemento do clima de maior variabilidade, em qualquer região e,* em especial, no semiárido*".*
Nas análises comparativas das medidas simultâneas, nos dois sistemas, foram contabilizadas as frequências relativas, quantificando-as como sendo os números de repetições que o valor medido (instantâneo) ou calculado (diário) na EMC foi maior que o da EMA, como mostra as Figuras 3 e 4.

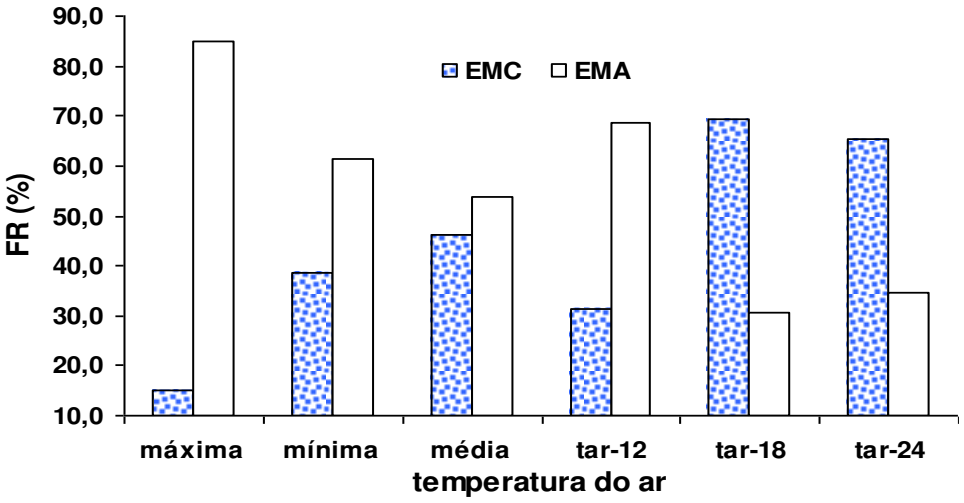


Figura 3. Frequência relativa (FR) do número de vezes em que a temperatura do ar, na EMC, foi maior que na EMA.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

As tendências apresentadas na Figura 3, mediante percentuais de repetições, mostraram que o número de vezes em que as temperaturas do ar medidas no termômetro convencional, nos horários das 18 e 24 UTC, foram sempre maiores que as do termistor. Já, às 12 UTC, na EMA, tanto para o valor instantâneo da temperatura do ar quanto para os da média, máxima e mínima foram maiores.

Comparando-se as frequências relativas da umidade relativa e da precipitação pluvial, com os valores instantâneos e/ou médios (Figura 4), constata-se que a tendência difere da encontrada para a temperatura do ar.

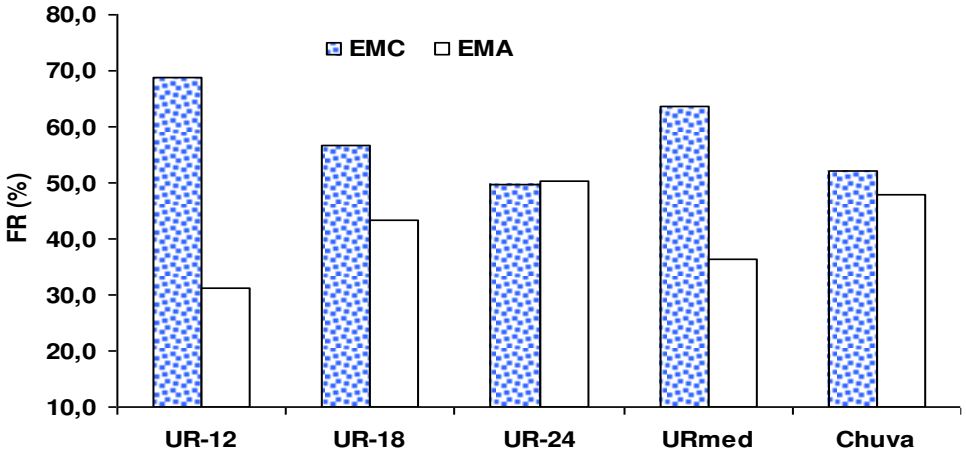


Figura 4. Frequências relativas (FR) do número de vezes em que a umidade relativa e a chuva na EMC foram maiores que na EMA.

É importante relatar que a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor a umidade e vice-versa. Assim, a frequência menor na EMA, em quase todas as situações apresentadas na Figura 4 é plenamente justificada em função dos maiores valores de temperatura do ar da EMC, quando comparada com a da EMA.

Contabilizando-se o número de repetição de valores maiores de UR no sistema convencional que no automático encontra-se uma tendência da umidade relativa ser maior no psicrômetro da EMC do que no termistor da EMA. Essa propensão concorda com a encontrada por Sentelhas et al. (1997), na qual UR na EMC tende a ser maior que EMA, mas é contrária a encontrada por Cunha & Martins (2004) e Oliveira et al. (2010) em que há subestimativa na UR na EMC, quando comparada com EMA.

A Tabela 4 resume os principais indicadores estatísticos dos modelos de regressão linear horários da temperatura do ar (tar) e da umidade relativa (UR), das 12, 18 e 24 UTC, com os seus respectivos índices de precisão e exatidão da relação entre esses elementos medidos na estação EMC versus os da EMA.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Variáveis	a	b	R^2	d	c	EM	EAM	ES	CRM	EF
Tar-12	0,00	0,99	0,87	0,91	0,85	27,40	0,00	0,00	0,00	0,92
Tar-18	0,00	0,95	0,95	0,97	0,94	31,40	0,00	0,00	0,00	0,77
Tar-24	0,00	1,01	0,76	0,80	0,70	23,80	0,00	0,00	0,00	0,88
UR-12	0,00	1,03	0,85	0,79	0,73	99,00	0,00	0,00	0,00	0,79
UR-18	0,00	1,02	0,93	0,92	0,89	98,00	0,00	0,00	0,00	0,92
UR-24	0,00	1,00	0,81	0,90	0,81	100,0	0,00	0,00	0,00	0,33

Tabela 4 – Indicadores estatísticos dos modelos de regressão linear horários de precisão: coeficientes linear (a), angular (b), determinação (R^2), concordância (d) e confiança (c) e de exatidão: erros máximo (EM), absoluto médio (EAM) e sistemático (ES), coeficiente de massa residual (CRM) e eficiência do modelo (EF), obtidos na relação EMC versus EMA. Areia, PB.

Os valores dos índices estatísticos da Tabela 4 mostram que os modelos de ajustes dos dados instantâneos têm elevadas exatidões, comprovadas pela nulidade do coeficiente linear (a=0), do angular (muito próximo de 1) e da correlação (R) superior a 87 %. Além desses indicadores, o índice de concordância (d) superou 78 % com nulidades no erro absoluto médio, coeficiente de massa residual e erro sistemático, o indicativo de confiança do modelo (c) enquadrado como sendo muito bom. A alta correlação das medidas e os demais índices estatísticos obtidos na relação entre sensores de temperatura e umidade relativa do ar (automáticos) e os convencionais, mesmo sendo em um escala menor (horária) corroboram com os resultados encontrados por Sentelhas *et al.* (1997), Cunha & Martins (2004), Almeida, Souza & Alcântara (2008), Pereira *et al.* (2008), Oliveira et al. (2010).

Os modelos de regressão com dados diários de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação pluvial oriundos da EMC versus os da EMA com os respectivos índices estatísticos precisão, exatidão e concordância são apresentados nas Figuras de 5 a 9 e na Tabela 4, respectivamente.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

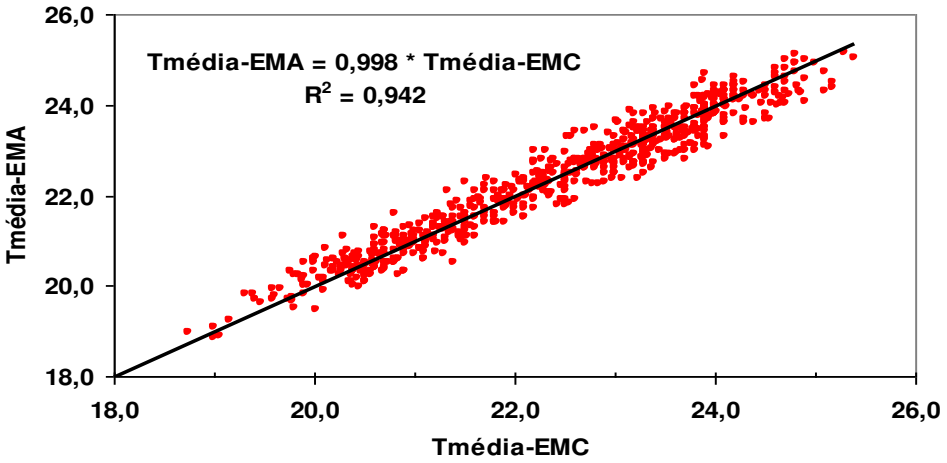


Figura 5. Modelo de regressão linear entre a temperatura media do ar da EMA e EMC. Areia, PB.

As retas de regressões lineares simples e os respectivos coeficientes angular, linear e de determinação, obtidas nas relações entre os dados obtidos pela EMC e EMA, para as variáveis temperaturas média, máxima e (Figuras 5, 6 e 7) mostram elevada precisão dos modelos (a=o; b ≈1 e R maior que 96 %). Os valores numéricos desses índices foram próximos ou, até mesmo, maiores que os encontrados por Almeida, Souza e Alcântara (2008), no semiárido paraibano; Cunha & Martins (2004) e Oliveira *et al*, (2010), para o interior paulista; Pereira et al. 2008 (no Paraná) e Strassburger et al. (2011), para o Rio Grande do Sul.

Com relação à equação de regressão da temperatura média (Figura 5), quando comparada com a da máxima e mínima (Figuras 6 e 7), observa-se que as diferenças nos indicativos de precisão (a, b e R^2) foram mínimas, além do coeficiente de determinação da equação ser até maior que o da mínima.

A inexistência da diferença acredita-se que deva ao igual procedimento metodológico adotada na determinação da temperatura média nos dois sistemas (EMC e EMA). Os índices estatísticos de exatidão e precisão foram, em geral, bem melhores que os encontrados por Cunha & Martins (2004), Pereira et al, (2008), Oliveira *et al.* (2010), por que nos modelos estabelecidos por eles comparam a média compensada da temperatura média com a média aritmética.

Para os elementos temperatura máxima e mínima diária (Figura 6 e 7), verifica-se que os modelos têm elevadas exatidões (R^2 >0,93; a =0 e b ≈1). Os erros médios absolutos foram de 0,2 ºC, valor inferior ao encontrado por Sentelhas et al. (1997), que foi de 0,7 ºC, e diferente do encontrado por Pereira et al. (2008) que obtiveram -0,2 ºC. Mesmo assim, observa-se que há uma tendência de valores maiores (de 0,2 a 0,4 ^{o}C) nos termômetros da EMC quando comparado com as temperaturas no sensor da EMA. Estas diferenças também podem estar relacionadas aos elementos sensíveis das duas estações.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

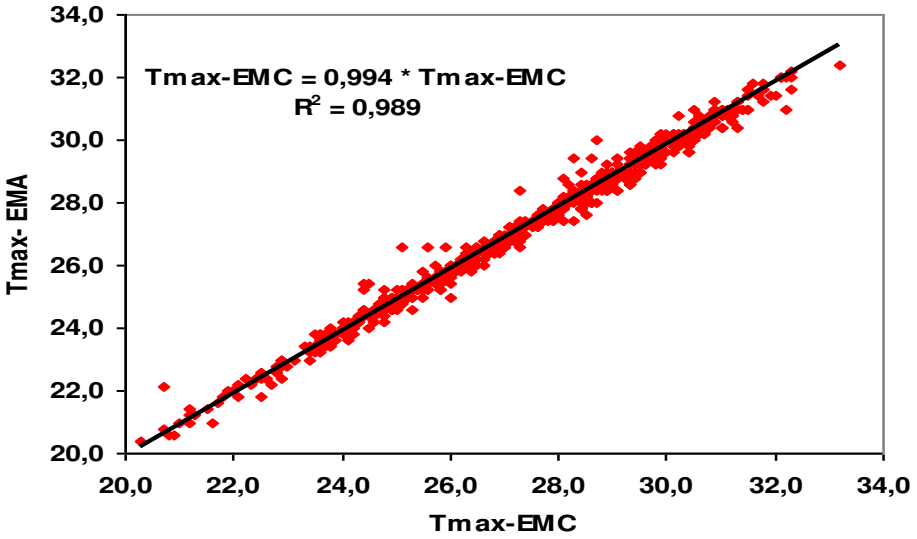


Figura 6. Modelo de regressão linear entre a temperatura máxima do ar da EMA e EMC. Areia, PB.

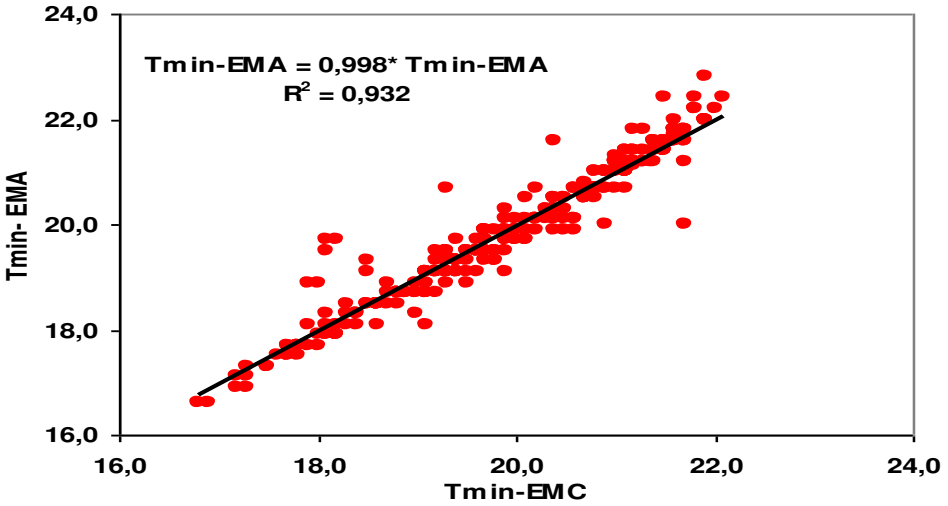


Figura 7. Modelo de regressão linear entre a temperatura mínima do ar da EMA e EMC. Areia, PB.

As Figuras 8 e 9 mostram os modelos de regressão- média diária- da umidade relativa e precipitação pluvial oriundos da EMC versus os da EMA.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

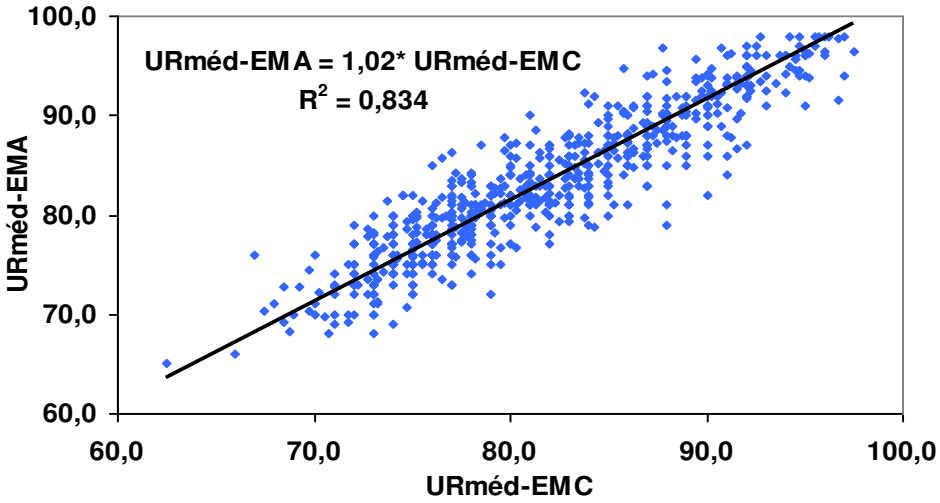


Figura 8. Modelo de regressão linear entre a umidade relativa média do ar da EMA e EMC. Areia, PB.

A média aritmética da umidade relativa média diária foi 1,5 % maior na EMA do que EMC (Tabela 2). Os indicadores estatísticos de precisão e exatidão dos modelos de regressão linear tanto na escala horária quanto na diária mostraram inferiores aos de temperaturas do ar e precipitação pluvial (Figuras 5, 6 e 7 e Tabelas 3, 4 e 5), indicam boa precisão e excelente exatidão (a=0 e b=1,02).

O erro médio absoluto foi desprezível e o índice de confiança de desempenho do modelo, que reúne precisão (r) e exatidão (d), foi bom. Os dados de UR na EMC são mais dispersos que os da EMA, mas não há indícios de subestimativa como encontrado por e Souza, Galvani e Assunção (2003); Cunha & Martins (2004); Oliveira *et al.* (2010), dentre outros.

Como cita Almeida, Souza & Alcântara (2008), a UR na EMA é obtida através de um algoritmo, por que não existe psicrômetro, ou seja, tem apenas um termistor sem o termômetro de bulbo úmido. Por isso, a pressão parcial de vapor (e_a) referente ao bulbo úmido é estimada por um polinômio. Como e_a é diretamente proporcional a UR, se houver uma sub ou super estimativa na pressão parcial haverá aumento ou diminuição na UR. Por isso, essa pode ser a principal causa da diferença.

Com relação à precipitação pluvial (Figura 9), observa-se que o modelo estatístico apresentou índices estatísticos de desempenho ótimo (c>0,85), alta correlação (R> 99%), excelentes concordância (d=0,97) e eficiência (EF=0,98) e o erro absoluto médio quase nulo. Além disso, houve uma pequena diferença de apenas 0,2 mm a menos, na média da série diária, no pluviômetro de báscula da EMA. Os desvios padrão da média, em ambos, podem representar quase três vezes o valor da média esperada. Essa dispersão não se deve aos sensores da EMA quando comparado com o da EMC, mas ao elemento chuva por ser extremamente variável no tempo e no espaço como cita (ALMEIDA, 2012)

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

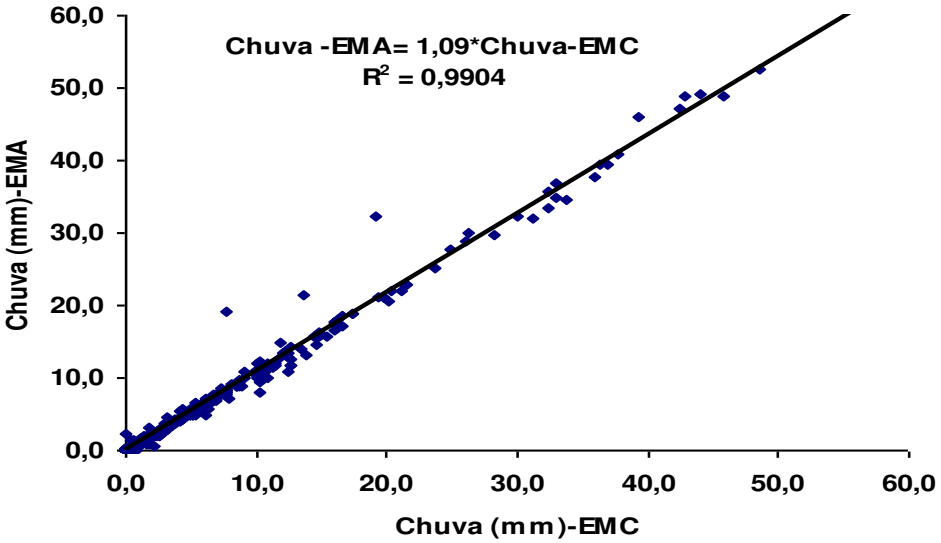


Figura 9. Modelo de regressão linear entre a precipitação pluvial da EMA e EMC. Areia, PB.

A Tabela 5 sumariza os demais índices estatísticos de precisão e exatidão dos modelos de regressão linear diário entre as temperaturas do ar, umidade relativa e precipitação pluvial obtidos na relação EMC versus EMA. Todos os indicadores estáticos mostram elevadas precisão, exatidão e concordância entre dados gerados simultaneamente nos dois sistemas, o que concordam com os resultados encontrados para outros locais por Cunha & Martins (2004), Almeida, Souza & Alcântara (2008), Oliveira *et al.* (2010), Pereira *et al.* (2008) dentre outros.

Elementos	d	c	EM	EAM	ES	CRM	EF
Temperatura média	1,00	0,97	0,90	0,27	0,00	0,00	0,97
Temp. máxima	1,00	0,99	1,50	0,23	0,00	0,01	0,99
Temp. mínima	0,86	0,83	1,70	0,22	0,00	0,00	0,92
Umidade relativa	0,79	0,72	9,25	0,01	1,64	-0,02	0,57
Precipitação pluvial	0,97	0,98	0,60	0,02	0,27	-0,04	0,98

Tabela 5 – Indicadores estatísticos, dos modelos de regressão linear diários, de precisão: coeficientes de concordância (d) e confiança (c) e de exatidão: erros máximo (EM), absoluto médio (EAM) e sistemático (ES), coeficiente de massa residual (CRM) e eficiência do modelo (EF)- obtidos na relação EMC versus EMA.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

É importante destacar que, os instrumentos meteorológicos da EMC têm sensibilidade, precisão e outras características diferenciadas das existentes nos sensores eletrônicos da EMA. Mesmo que sejam insignificantes as diferenças entre si tanto nos valores instantâneos da temperatura do ar, umidade relativa e da precipitação pluvial quanto nos diários (calculados) há necessidade de análises estatísticas comparativas para medidas simultâneas, por período nunca inferior a dois anos. Além disso, os indicativos estatísticos de precisão, exatidão e confiança dos modelos de regressão garantem a homogeneidade das duas séries e, portanto, a substituição da série antiga pela nova.

4. CONCLUSÃO

As análises estatísticas entre os dados instantâneos e/ou das médias diárias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação pluvial oriundos da estação meteorológica convencional (EMC) e a comparação com os da automática (EMA) indicaram através dos índices estatísticos concordância, exatidão e precisão, a estreita relação existente entre si o que garante a continuidade da série histórica, ou seja, a substituição da EMC pela EMA.

5. REFERÊNCIAS

.ALMEIDA, H. A. de. Climate, water and sustainable development in the semi-arid of northeastern Brazil. *In:* **Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil,** Unikaseel, Alemanha, v.3, p.271-298, 2012.

.ALMEIDA, H. A., SOUZA, J. A., ALCÂNTARA, H. M. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semi-árido paraibano.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 16, n. 1, p. 58-66, 2008.

.ALMEIDA, H. A., SILVA, L. **Determinação das características hídricas da microbacia de drenagem da barragem Vaca Brava.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 16, n. 1, p. 77-86, 2008.

.CUNHA, A R., MARTINS, D. **Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 12, n. 1, p. 103-111, 2004.

.OLIVEIRA, A. D., ALMEIDA, B. M., JUNIOR, E. G. C., SOBRINHO, J.E., VIEIRA, R. Y. M. **Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

.PEREIRA, L. M. P., CARAMORI, P. H., RICCE, W. S., CAVIGLIONE, J. H. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina.** Semina: Ciências Agrárias, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2008.

.SEIBERT, J., MORÉN, A. S. **Reducings systematic errors in rainfall measurements using a newtype of gauge. Agricultural and Forest Meteorology,** v.98-99, n. 1, p. 341-348, 1999.

.SENTELHAS, P. C., MORAES, S. O., PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., MARIN, F. R. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

.SOUZA, I. A., GALVANI, E., ASSUNÇÃO, H. F. **Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na Região de Maringá.** Acta Scientiarum. Technology, v. 25, n. 2, p. 203-207, 2003.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

.STRASSBURGER, A. S., MENEZES, A. J. E.A., PERLEBERG, T. D., EICHOLZ, E.D., MENDEZ, M.E.G., SCHÖFFEL, E.R. **Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.2, 273- 278, 2011.

.WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation.** Geneva, World Meteorological Organization, n. 8, 5ª ed., 1983. 230p.

. WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S. G., DAVIS, R. E., FEDDEMA, J. J., KLINK, K. M.,. LEGATES, D. R., O'DONNELL, J., ROWE, C. M. **Statistics for the evaluation and comparison of models.** Journal of Geophysical Research, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.